

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PPGECC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

FERNANDO HENRIQUE MALEWSCHIK

BIM E DFMA VISANDO A REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE PARTES DA
CONSTRUÇÃO

CURITIBA

2016

FERNANDO HENRIQUE MALEWSCHIK

BIM E DFMA VISANDO A REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE PARTES DA
CONSTRUÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Construção Civil da Universidade
Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do
grau de Mestre em Engenharia de Construção Civil –
Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer

CURITIBA

2016

Malewschik, Fernando Henrique

BIM e DFMA visando a redução da quantidade de partes da construção / Fernando Henrique Malewschik. – Curitiba, 2016.
109 f. : il.; tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Sergio Scheer

Bibliografia: p.104-107

1. Modelagem de informação da construção. 2. Projetos de engenharia. I. Scheer, Sergio. II. Título.

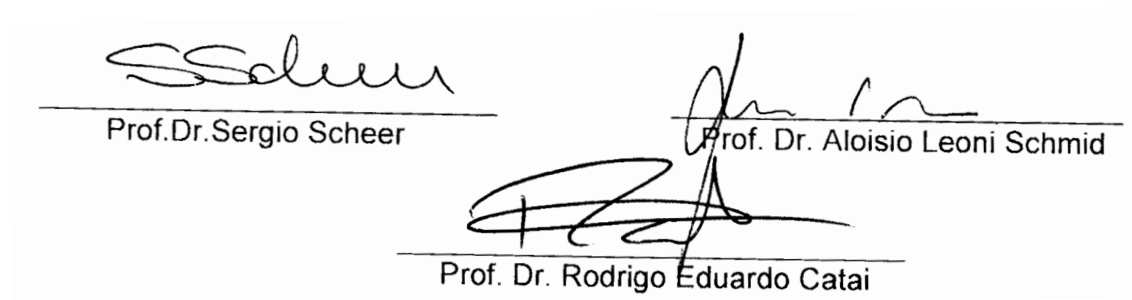
CDD 620.135

TERMO DE APROVAÇÃO

FERNANDO HENRIQUE MALEWSCHIK

BIM E DFMA VISANDO A REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE PARTES DA CONSTRUÇÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Prof.Dr.Sergio Scheer

Prof. Dr. Aloisio Leoni Schmid

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai

CURITIBA

2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à memória de meu Pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, a meu irmão, aos meus sogros, a meu orientador Prof. Dr. Sergio Scheer, aos professores e colegas do PPGECC, à CAPES e especialmente a minha esposa Susana.

RESUMO

A construção civil tem apresentado produtividade baixa nos últimos anos e que não melhorou na mesma proporção que outros setores da economia, como o automobilístico ou de manufatura. Algumas alternativas vêm sendo pensadas e implantadas para melhorar esse quadro enfrentado pela indústria da construção civil (ICC). Dentre elas, a Modelagem da Informação da Construção (BIM). Entretanto, salienta-se que o que chama a atenção nos setores cuja produtividade é crescente, refere-se à alta industrialização e automatização da fabricação de produtos. Sabe-se que um dos processos responsáveis por esse aumento de produtividade é a possibilidade de reduzir o número de partes de um projeto por intermédio do projeto para fabricação e montagem (DFMA), atualmente adotado pelo setor aeroespacial, automobilístico e de manufatura. A hipótese levantada foi a de que a aplicação de BIM e DFMA em conjunto no processo de projeto pode diminuir a quantidade de “partes da construção” e, conseqüentemente, trazer diversos benefícios para os projetos. Nesse sentido, esta dissertação teve como objetivo utilizar o processo BIM aliado com DFMA para o desenvolvimento de um projeto visando a redução do número de “partes da construção”. O método utilizado foi o *Design Science Research* e contemplou uma revisão bibliográfica de fontes primárias e de artigos publicados em periódicos de alto impacto e a elaboração de um artefato utilizando BIM e DFMA em conjunto. Foi desenvolvida uma modelagem de um projeto residencial, a partir de projetos convencionais. Esse modelo foi desenvolvido posteriormente através da metodologia DFMA com o objetivo de reduzir a quantidade de partes da construção utilizando outras soluções alternativas pré-fabricadas ou industrializadas. Após análise do artefato entende-se que foi possível reduzir a quantidade de partes do projeto e que nesse caso específico houve expressiva redução da quantidade de partes (98,35%). A partir da revisão bibliográfica, pode-se afirmar que a diminuição da quantidade de partes de um produto gera uma melhora na análise do projeto. Pode-se afirmar também que a redução da quantidade de partes pode gerar muitos benefícios ao projeto, como maior controle do projeto, maior velocidade de execução e montagem, possuir menos informação a ser trocada durante a montagem e execução do produto, gerar redução de custos, dentre outros benefícios possíveis. Também, constatou-se que se o projeto utiliza soluções pré-moldadas e modulares, BIM se torna uma ferramenta poderosa para o levantamento da quantidade de partes da construção.

Palavras chave: BIM, DFMA, ICC, partes da construção.

ABSTRACT

The productivity of the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry in recent years has not grown in the same proportion as it has in other sectors, such as automotive or manufacturing. Some alternatives are emerging to improve this situation faced by the AEC industry, among them, the Building Information Modeling (BIM). However, one important aspect observed in those sectors whose productivity is growing, refers to the high industrialization and automation of the manufacturing products. It is known that one of the processes responsible for this increased productivity is the possibility of reducing the number of parts of a building design through the Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), currently adopted by the aerospace, manufacturing and automotive areas. The hypothesis was that the application of BIM and DFMA together in the design process may decrease the amount of "construction parts" and therefore have various benefits for the projects. In this sense, this work aimed to use the BIM process combined with DFMA to develop a project aimed at reducing the number of "construction parts." The method used was the Design Science Research and included a literature review of primary sources and articles published in high impact journals on the subject and the development of an artifact using BIM and DFMA together. A residential project model was developed from conventional designs. This model was developed by DFMA method to reduce the number of construction parts using prefabricated or industrialized solutions. After artifact analysis was possible to reduce the number of parts and in this particular case there was a significant reduction in the construction parts (98,35%). From the literature review, it can be said that the decrease in number of parts generates an improvement in project analysis. One can also say that reducing the number of parts can generate many benefits to the project as greater control of the project, greater speed of execution and assembly, less information to be exchanged during assembly, cost reduction, among other possible benefits. Also, it was found that if the design utilizes modular or industrialized solutions, BIM becomes a powerful tool for quantify construction parts.

Keywords: BIM, DFMA, AEC, construction parts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Quadro de apresentação do sistema de pesquisa Design Science Research	23
Figura 2.2. Produtividade da indústria da construção civil comparada com as outras indústrias não agrícolas	29
Figura 2.3. Processos de projeto em relação aos custos e capacidade de alteração do projeto.....	31
Figura 2.4. Algumas telas produzidas por uma modelagem de um pequeno projeto de um escritório	32
Figura 2.5. Modelo BIM atualizado com o status de instalação das portas de uma edificação.....	37
Figura 2.6. Representação do sistema construtivo. O feixe de luz indica onde os nano-robôs devem construir paredes e tubulações de carbono.....	38
Figura 2.7. Modelo KanBIM representando a edificação e as informações referentes ao status da produção: se o local está em execução, se o trabalho está parado por algum motivo, se está liberado como frente de trabalho, etc.	39
Figura 2.8. Usuário utilizando KanBIM para atualizar o status da produção de drywall em um monitor de 40”, resistente a qualquer condição de tempo, com sensibilidade ao toque e montado sobre um carrinho móvel.	39
Figura 2.9. Representação da produção e armazenamento da informação em diferentes etapas do ciclo de vida da edificação. A) Processo tradicional, com documentação baseada em desenhos e estágio único. B) Sistema de banco de dados tradicional para gerenciamento de facilidade. C) Entregas de documentação baseadas em BIM através de todo o processo de projeto e operação. D) Configuração de banco de dados de gerenciamento de facilidades. E) Integração do Gerenciamento de Facilidades com sistemas de gestão empresarial. F) Utilização da documentação “as-built” para modernizações. G) Atualização do banco de dados de gerenciamento de facilidades...	42
Figura 2.10. Uma planta é apresentada com anotações sobre cada ambiente referente ao seu estado atual.....	44
Figura 2.11. Modelagem do planejamento da obra através de formas deslizantes.	45
Figura 2.12. Edificação <i>One Island East</i> modelada com todas as disciplinas.	45
Figura 2.13. Modelo com informações sobre custos.	46
Figura 2.14. Opção A) com abrigos para a proteção contra a luz solar; opção B) utilização de fita vítrea para proteção solar.....	47

Figura 2.15. Processo de medição, fabricação e montagem.	48
Figura 2.16. Um dos modelos do estudo de caso da Universidade de Northumbria.....	49
Figura 2.17. Diagrama de fiabilidade.	61
Figura 2.18. Concepção do motor.	62
Figura 2.19. Projeto original do motor.	63
Figura 2.20. Novo projeto proposto do motor (Adaptado de BOOTHROYD, 1994)....	64
Figura 2.21. Projeto original do retículo da mira térmica.	66
Figura 2.22. Novo projeto proposto para o retículo da mira térmica.	67
Figura 2.23. Do lado esquerdo o projeto original do Mouse e do lado direito o novo projeto proposto.....	68
Figura 2.24. Exemplos de parte de construção.....	69
Figura 2.25. Montagem do produto modular The Stark em Nova Iorque.	70
Figura 2.26. Resultado final e fabricação Da Starbucks em Marysville.	71
Figura 3.27. Implantação mostrando o terreno e os blocos.....	73
Figura 3.28. Recorte da planta de formas do pavimento térreo do bloco 2Q.....	75
Figura 3.29. Recorte da planta de água fria do bloco 3Q.....	76
Figura 3.30. Imagem 3D, elevação e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional estrutural do bloco 2Q.....	77
Figura 3.31. Imagem 3D, elevação e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional estrutural do bloco 3Q.....	77
Figura 3.32. Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 2Q.	79
Figura 3.33. Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 3Q.	79
Figura 3.34. Blocos 2Q e 3Q com paredes de blocos cerâmicos.....	80
Figura 3.35. Imagem 3D, elevação e implantação retirados automaticamente da modelagem dos projetos convencionais de hidráulica e estrutural de todos os blocos 2Q e 3Q.	80
Figura 3.36. Imagem 3D da modelagem dos projetos convencionais de hidráulica e estrutural e paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de todos os blocos 2Q e 3Q. ..	81
Figura 3.37. Tubulação e conexões PEX.....	84
Figura 3.38. Solução de estrutura em concreto armado pré-fabricado e painéis pré-fabricados de vedação.....	85

Figura 3.39 - Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 2Q.	86
Figura 3.40 - Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 3Q.	87
Figura 3.41 - Blocos 2Q e 3Q com estrutura pré-fabricada e paredes pré-fabricadas de vedação.	87
Figura 3.42 - Imagem 3D, elevação e implantação retirados automaticamente da modelagem dos novos projetos propostos de hidráulica e estrutural de todos os blocos 2Q e 3Q.	88
Figura 3.43 - Imagem 3D da modelagem dos novos projetos propostos de hidráulica e estrutural e paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de todos os blocos 2Q e 3Q. ..	88
Figura 4.44. Tabela de armadura dos blocos de fundação e esperas dos pilares do bloco 3Q.	90

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1.1. Comparação de programas de pesquisa orientados para a descrição e para a prescrição.....	21
Tabela 1.2. Comparativo entre as abordagens de Design Science Research, Estudo de Caso e Pesquisa-Ação.....	22
Tabela 1.3. Tabela de diretrizes da pesquisa	24
Tabela 2.4. Comparação entre termos utilizados e BIM	35
Tabela 2.5. Os temas mais citados nas publicações levantadas.....	43
Tabela 2.6. Publicações utilizadas para a revisão sistemática sobre BIM.....	50
Tabela 2.7. Estudo DFA sobre o projeto inicial do motor.....	64
Tabela 2.8. Estudo DFA sobre o novo projeto proposto do motor.....	65
Tabela 2.9. Comparação entre o projeto original e o novo projeto do motor.....	65
Tabela 2.10. Publicações utilizadas para a revisão sistemática sobre DFMA.....	72
Tabela 4.11. Quantidade de partes de peças estruturais do projeto estrutural convencional.	89
Tabela 4.12. Quantidade de parte de espaçadores de armaduras do projeto estrutural convencional.....	90
Tabela 4.13. Quantidade de partes do sistema de água fria do projeto hidráulico convencional.....	91
Tabela 4.14. Quantidade de partes de adesivo plástico para PVC e fita veda rosca do projeto hidráulico convencional.	92
Tabela 4.15. Quantidade de partes das paredes de fechamento.....	92
Tabela 4.16. Quantidade de partes dos blocos 2Q e 3Q com os projetos convencionais.	93
Tabela 4.17. Quantidade total do produto com os projetos convencionais.	94
Tabela 4.18. Quantidade de partes do sistema de água fria do novo projeto hidráulico proposto.	95
Tabela 4.19. Quantidade de partes de adesivo plástico para PVC e fita veda rosca do projeto hidráulico convencional.	96
Tabela 4.20. Quantidade de partes de peças estruturais do novo projeto estrutural.....	96
Tabela 4.21. Quantidade de partes dos blocos 2Q e 3Q com os projetos convencionais.	97

Tabela 4.22. Quantidade total do produto com os projetos convencionais.	97
Tabela 4.23. Análise comparativa da quantidade de partes dos projetos convencionais e dos novos projetos propostos.....	99
Tabela 4.24. Comparação da quantidade de partes de um pilar na solução convencional de concreto armado e na nova solução proposta de concreto armado pré-fabricado. ..	100
Gráfico 4.1 - Distribuição de partes do produto com os projetos convencionais.....	94
Gráfico 4.2 - Distribuição de partes do produto com os novos projetos propostos.....	98
Gráfico 4.3 - Quantidade total do produto com os projetos convencionais e com o novo projeto proposto, mostrando a distribuição entre as disciplinas.....	99

LISTA DE SIGLAS

AEC – Arquitetura, engenharia e construção

BIM – *Building Information Modeling*

DFMA – *Design for Manufacturing and Assembly*

DFA – *Design for Assembly*

DFM – *Design for Manufacturing*

DFX – *Design for Excellence*

DSR – *Design Science Research*

ICC – Indústria da Construção Civil

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO E INTRODUÇÃO AO TRABALHO	16
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.3 OBJETIVO	17
1.4 HIPÓTESE.....	17
1.5 JUSTIFICATIVA	18
1.5.1 Ambiental.....	18
1.5.2 Econômico.....	19
1.5.3 Tecnológico.....	19
1.5.4 Social.....	19
1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA	20
1.7 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	21
1.7.1 Protocolo de coleta de dados	24
1.7.2 Unidade de análise	25
1.7.3 Testes de validade	25
1.7.4 Delimitações da pesquisa	27
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	29
2.1 CONTEXTO DA ICC	29
2.2 BIM.....	32
2.2.1 Origem do BIM	32
2.2.2 Conceito de BIM	33
2.2.3 Interoperabilidade e IFC.....	35
2.2.4 Modelagem nD	36
2.2.5 Diversas utilizações para o BIM	36
2.2.6 Benefícios da utilização de BIM	40
2.2.7 Casos de sucesso no uso de BIM	44
2.2.8 Conclusões acerca do BIM.....	49
2.3 DFMA	51
2.3.1 Origem do DFMA	51
2.3.2 Conceito de DFMA	53
2.3.3 Recomendações e aplicação de DFMA.....	54
2.3.4 Benefícios da utilização de DFMA	59

2.3.5 Casos de sucesso no uso de DFMA	61
2.3.6 Partes da construção	68
2.3.7 Conclusões acerca do DFMA.....	71
3. PROJETOS, MODELAGEM E O ARTEFATO.....	73
3.1 PROJETOS CONVENCIONAIS	74
3.1.1 Projeto estrutural	74
3.1.2 Projeto hidráulico	75
3.2 MODELAGEM BIM DOS PROJETOS CONVENCIONAIS.....	76
3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ATRAVÉS DE DFMA.....	81
3.3.1 Recomendações e princípios de DFMA aplicado em um projeto da ICC	81
3.4 MODELAGEM BIM DOS NOVOS PROJETOS PROPOSTOS	86
4. RESULTADOS	89
4.1 CONTAGEM DE PARTES DOS PROJETOS CONVENCIONAIS	89
4.2 CONTAGEM DE PARTES DOS NOVOS PROJETOS PROPOSTOS.....	95
4.3 COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE PARTES DOS PROJETOS CONVENCIONAIS E DOS NOVOS PROJETOS PROPOSTOS	98
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE REDUÇÃO DE PARTES DA CONSTRUÇÃO	100
5. CONCLUSÕES.....	102
REFERÊNCIAS	104
DOCUMENTOS CONSULTADOS.....	108
APÊNDICES	109
ANEXOS	109

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão descritos aspectos que definem como o trabalho foi encaminhado, qual o seu objetivo, seu apelo e como o estudo pretende alcançar o objetivo.

1.1 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO E INTRODUÇÃO AO TRABALHO

Um estudo alarmante foi publicado em 2004 sobre a produtividade da indústria da construção civil nos Estados Unidos, afirmando que durante 40 anos a produtividade se estagnou ou diminuiu. O estudo comparava a produtividade com os outros setores industriais que tiveram aumentos significativos de produtividade nesses anos. Em 2013, o autor desse estudo atualizou os dados e publicou novo estudo, o mesmo resultado foi encontrado: há 50 anos a produtividade da indústria da construção nos Estados Unidos está estagnada ou em decadência (TEICHOLZ, 2013).

No Brasil sabe-se que a situação não é diferente apesar de não haver estudo tão específico sobre o assunto. Além da baixa produtividade, a falta de controle e o desperdício de recursos são problemas comuns no setor da construção, acarretando em atrasos de cronograma e aditivos de custos não previstos.

Os processos utilizados na indústria da construção civil (ICC) são os mesmos há décadas e com o intuito de contribuir para uma mudança desse quadro geral foram estudadas alternativas de processos para a ICC.

Deste modo, foram analisadas alternativas para os processos convencionais da ICC. Uma das alternativas é o BIM (*Building Information Modeling*), vastamente estudado, desenvolvido e analisado para utilização na ICC. A outra alternativa é o DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*), que há décadas vem sendo utilizado nos setores aeroespacial, automobilístico e de manufatura. A inovação deste trabalho consiste na proposta de utilizar a abordagem DFMA, metodologia utilizada em outros setores industriais com maiores índices de produtividade, para o desenvolvimento de um produto da ICC.

Apesar de culturalmente os produtos da ICC serem diferentes dos derivados de outros setores, visto que na ICC cada produto é inédito, individual e pessoal, a utilização de DFMA na ICC poderia contribuir para mudar esse paradigma, ou ao menos ajudar na melhoria dos processos desses produtos.

Tendo isso em vista, foi realizado um estudo sobre o processo de projeto de edificações da construção civil aplicando os processos BIM e DFMA com o objetivo de avaliar as contribuições da utilização desses processos em conjunto para o desenvolvimento de um produto da ICC.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Após a introdução ao assunto o problema de pesquisa foi definido: como a utilização de BIM e DFMA pode auxiliar o desenvolvimento de projetos da ICC usando como métrica a quantidade de partes da construção?

1.3 OBJETIVO

Esta dissertação teve como objetivo utilizar o processo BIM aliado com a metodologia DFMA para o desenvolvimento de um projeto da ICC utilizando como métrica a quantidade de partes da construção.

Além do objetivo principal, a pesquisa teve como um objetivo secundário contribuir para o entendimento do conceito de “partes da construção”. Outro objetivo secundário foi adaptar recomendações da metodologia DFMA de desenvolvimento de projetos para a ICC.

1.4 HIPÓTESE

A utilização do processo BIM contribui para diversas melhorias durante todo o ciclo de vida de um projeto, como por exemplo redução de custos gerais e diminuição no cronograma total do projeto. O processo BIM é largamente estudado e desenvolvido para utilização na ICC e os benefícios proporcionados pela sua utilização se devem ao fato de integrar as pessoas envolvidas no projeto, durante todo o ciclo de vida do projeto, e centralizar as informações do projeto em um único modelo virtual (EASTMAN et al., 2014).

O DFMA possibilita uma análise sistemática de projetos. A aplicação desse método no processo de projetar gera produtos mais confiáveis e mais simples, facilitando os processos de fabricação e de montagem. Além disso, o DFMA visa a redução do número de partes do projeto, o que acarreta em uma melhora geral no desenvolvimento

do produto (BOOTHROYD, 1994). Estudos de outros setores industriais como o aeroespacial, automobilístico etc., demonstram que houve redução nos custos do projeto e no tempo de fabricação e de montagem de um produto após utilizar esse processo (BOOTHROYD, 1994).

A hipótese elaborada para este trabalho foi a de que a utilização de BIM e DFMA pode auxiliar no desenvolvimento e análise de projetos da ICC e, também, a redução da quantidade de partes utilizando esses processos poderá ser alcançada. O estudo considerou a métrica da quantidade de partes para avaliar o sucesso do desenvolvimento do projeto. Também, foram avaliados pelo autor os benefícios da utilização de BIM e DFMA para o desenvolvimento do projeto específico.

1.5 JUSTIFICATIVAS

Araújo (2012) aponta que o Brasil conseguiu aumentar seus indicadores científicos na última década através da formação de pós-graduados e da participação em publicações indexadas, mas os indicadores de inovação e a participação mundial do Brasil nas patentes praticamente não se alteraram.

Este trabalho se propôs a contribuir para a construção de conhecimento e estudo de alternativas de processos que podem melhorar o quadro atual da Construção Civil. A importância deste estudo pode ser justificada por diferentes campos: ambiental, econômico, tecnológico e social.

1.5.1 Ambiental

A Indústria da Construção Civil sempre foi considerada como uma das principais agentes poluidoras e geradoras de resíduos (PINTO, 1999). O maior controle de perdas no canteiro de obras e a melhor aplicação dos materiais podem proporcionar a preservação de recursos naturais e possibilitar que as futuras gerações possam usufruir também desses bens (JOHN, 2001).

Uma das pretensões do estudo foi a de analisar, estudar e utilizar soluções industrializadas durante o desenvolvimento dos projetos convencionais. Essas soluções possuem maior controle durante as etapas de fabricação e montagem das construções, por esse motivo geram menos resíduos e utilizam de forma mais adequada os materiais.

1.5.2 Econômico

A Indústria da Construção Civil (ICC) possui um índice de produtividade muito baixo se comparado com o de outros setores. A produtividade do setor não aumenta há 50 anos (TEICHOLZ, 2013).

O estudo realizado se justifica por investigar soluções que possam auxiliar no desenvolvimento de projetos de produtos da ICC. Isso poderia gerar melhorias durante todo o ciclo de vida do projeto, tais como: aprimoramento na comunicação; redução de perdas de informação e consequente redução de retrabalho; aumento da produtividade; o aumento do controle durante todo o ciclo de vida do produto, aumento da qualidade do produto final, redução de custos e redução do tempo necessário para o desenvolvimento do projeto.

1.5.3 Tecnológico

O presente estudo utilizou em seu desenvolvimento o processo BIM e *software* correlacionado a este processo. O processo BIM vem sendo estudado largamente nos últimos anos, mas toda a sua potencialidade ainda não foi descoberta e há muito campo de estudo a ser desvendado.

O interesse do desenvolvimento do BIM não é somente da academia. Construtoras, escritórios de projetos, incorporadoras etc. vêm utilizando de diferentes maneiras o processo nos últimos anos.

Duas possibilidades da utilização de BIM ainda pouco estudadas que foram melhor aprofundadas neste trabalho são: a de ferramenta para o desenvolvimento de projetos e a de ferramenta para quantificação de partes da construção.

1.5.4 Social

O estudo é sobre projetos de edificações de cunho social, e apesar de possuir uma unidade de análise virtual, que é uma modelagem, aprofundou um desenvolvimento de projetos de edificações de interesse social.

1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Com o intuito de situar o presente trabalho no programa em que se encontra, foi feito um levantamento das pesquisas realizadas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, programa esse que tem como objetivo a ampliação e o aprofundamento de conhecimentos nas áreas da Engenharia Civil.

Os resultados do levantamento realizado mostram que algumas publicações do programa são correlacionadas a este trabalho por estudarem a modulação ou industrialização da construção civil, ou mesmo a utilização de ferramentas computacionais. Moser (2003) realizou a primeira dissertação do programa com o foco nessa área, tendo estudado o conceito de Célula de Manufatura Móvel; Pereira (2005) estudou sobre um sistema construtivo aberto para ser usado em habitações de interesse social e pensado através da modulação. Azuma (2008) pesquisou um sistema para a melhor aplicação e coordenação modular em habitações de interesse social. Witicovski (2011) analisou o método tradicional de levantamento de quantitativos e comparou com o levantamento através de um modelo BIM. Tripolone (2011) investigou o perfil de inovação de indústrias de elementos pré-fabricados de Curitiba. Sato (2012) analisou o processo de fabricação em empresas de elementos pré-fabricados em Curitiba através do conceito de produção enxuta. Monich (2012) avaliou questões ambientais respectivas à produção de uma habitação de interesse social em wood frame na cidade de Curitiba.

Algumas das produções encontradas se associam ao presente trabalho por estudarem um produto da ICC destinado a uma parcela da sociedade com menor renda, mostrando o grau de engajamento social do programa em relação à preocupação social: Fischer (2003) publicou a primeira dissertação do programa a tratar de habitação de interesse social; Santos (2004) tratou de diretrizes arquitetônicas para adaptação ao cadeirante; Gaia (2005) continuou o assunto sobre a acessibilidade física para habitações de interesse social mas focou na terceira idade; Larcher (2005) estudou melhorias de projetos e de soluções construtivas para habitações de interesse social e Marcos (2009) realizou uma análise da emissão de dióxido de carbono em uma habitação de interesse social através de uma ferramenta CAD-BIM.

1.7 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Para uma pesquisa possuir crédito como sólida e relevante, é necessário desenvolver com rigor a estratégia de pesquisa e possibilitar que a pesquisa seja repetida, discutida e debatida futuramente (LACERDA et al., 2013). Com o intuito de encontrar a metodologia adequada para o presente estudo realizou-se um estudo sobre alternativas de métodos de pesquisa.

Com base no trabalho de Gil (2009) pode-se afirmar que uma pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o tema, tornar o problema mais explícito e constituir hipóteses. Dessa forma pode-se enquadrar o presente estudo nessa categoria de pesquisa.

Primeiramente se faz necessário a distinção entre os diferentes tipos de pesquisa: orientados à descrição e orientados à prescrição (LACERDA et al., 2013).

Tabela 1.1. Comparação de programas de pesquisa orientados para a descrição e para a prescrição

Característica	Programas de Pesquisa orientados para a Descrição	Programas de Pesquisa Orientados para a Prescrição
Paradigma Dominante	Ciência Explicativa	<i>Design Science</i>
Foco	No problema	Na solução
Perspectiva	Observação	Participativa
Lógica	Retrospectiva	Intervenção para alcançar um resultado
Típica Questão de Pesquisa	Explicação/explanação	Soluções alternativas para uma classe de problemas
Típico Produto de Pesquisa	Modelo causal; lei quantitativa	Regra tecnológica testada e fundamentada
Natureza do Produto de Pesquisa	Algoritmo	Heurística
Justificação	Comprovação/ prova	Saturação por evidências
Tipo de teoria resultante	Teoria Organizacional	Teoria Gerencial

Fonte: Adaptado de Lacerda et al., 2013.

Como na presente pesquisa foram elaborados modelos computacionais e os mesmos foram avaliados pelo próprio autor, pode-se definir o tipo de método como prescritivo.

Lacerda et al. (2013) procuram distinguir os diferentes aspectos das seguintes abordagens: *Design Science Research*, estudo de caso tradicional e pesquisa-ação tradicional.

Tabela 1.2. Comparativo entre as abordagens: *Design Science Research*, Estudo de Caso e Pesquisa-Ação

Características	<i>Design Science Research</i>	Estudo de Caso tradicional	Pesquisa-Ação tradicional
Objetivos	Desenvolver artefatos que permitam soluções satisfatórias aos problemas práticos.	Auxiliar na compreensão de fenômenos sociais complexos.	Resolver ou explicar problemas de um determinado sistema gerando conhecimento para a prática e para a teoria.
	Prescrever e Projetar	Explorar, Descrever e Explicar	Explorar, Descrever e Explicar
Principais Atividades	<ul style="list-style-type: none"> • Conscientizar • Sugerir • Desenvolver • Avaliar • Concluir 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir Estrutura Conceitual • Planejar o(s) caso(s) • Conduzir Piloto • Coletar Dados • Analisar Dados • Gerar Relatório Miguel (2007, p. 221)	<ul style="list-style-type: none"> • Planejar a Ação • Coletar Dados • Analisar dados e Planejar ações • Implementar Ações • Avaliar Resultados • Monitorar (Contínuo) Turrioni e Mello (2010)
Resultados	Artefatos (Constructos, Modelos, Métodos, Instanciações)	Constructos Hipóteses Descrições Explicações	Constructos Hipóteses Descrições Explicações Ações
Tipo de Conhecimento	Como as coisas deveriam ser	Como as coisas são ou como se comportam.	Como as coisas são ou como se comportam.
Papel do Pesquisador	Construtor e Avaliador do Artefato	Observador	Múltiplo, em função do Tipo de Pesquisa-Ação
Base Empírica	Não obrigatória	Obrigatória	Obrigatória
Colaboração Pesquisador-Pesquisado	Não obrigatória	Não obrigatória	Obrigatória
Implementação	Não obrigatória	Não se Aplica	Obrigatória
Avaliação dos Resultados	Aplicações Simulações Experimentos	Confronto com a Teoria	Confronto com a Teoria
Abordagem	Qualitativa e/ou Quantitativa	Qualitativa	Qualitativa

Fonte: Lacerda et al., 2013.

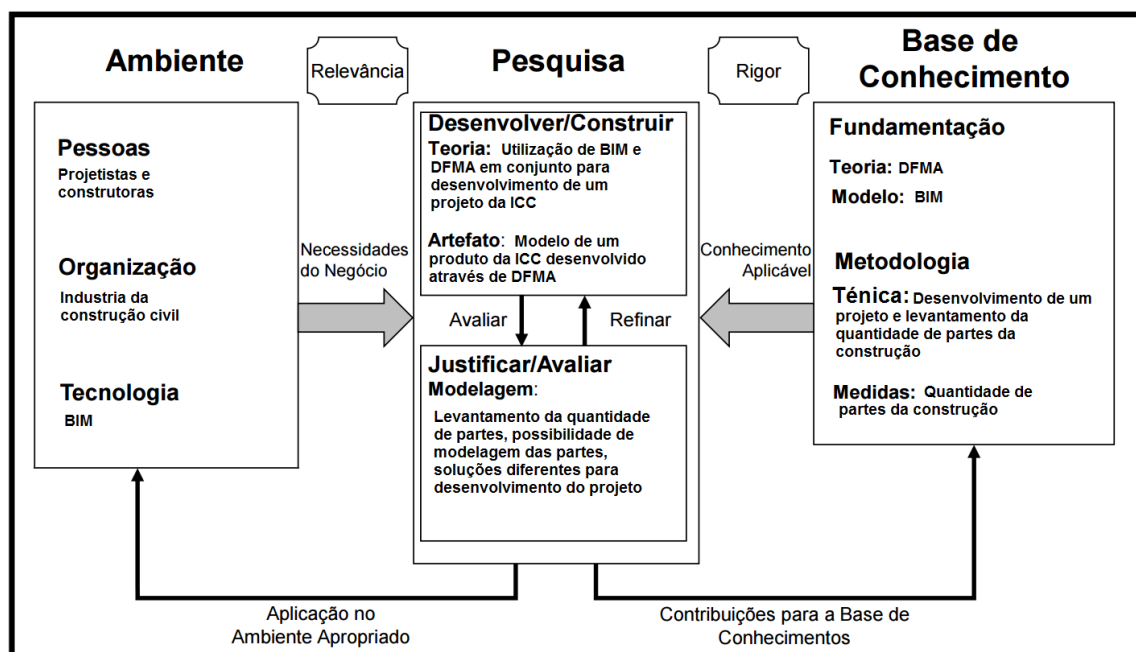
Após análise da estrutura de diferentes tipos de método, entende-se que o método mais condizente a proposta do trabalho é a *Design Science Research* (DSR).

Como colocado por Lacerda et al. (2013), a DSR é um paradigma epistemológico de investigação capaz de produzir construções inovadoras, como modelos. O foco da metodologia é na solução dos problemas e no estudo de alternativas

de soluções, não se propõe a analisar um caso existente, mas sim, produzir um artefato que possibilite a análise de uma situação que deveria estar ocorrendo.

Na figura 1.1 é apresentado os 3 principais campos da DSR do estudo: o ambiente em que o estudo está presente, a pesquisa necessária para produzir o artefato e a base de conhecimento para produção das soluções. Também, é mostrado que a pesquisa está deve possuir relevância para ser aplicada no ambiente apropriado e que deve ter rigor para contribui à base de conhecimento.

Figura 1.1. Quadro de apresentação do paradigma epistemológico Design Science Research



Fonte: adaptado de Hevner *et al.*, 2004.

Tabela 1.3. Tabela de diretrizes da pesquisa

Diretriz	Aplicação da diretriz na pesquisa
Artefato	Modelo de um projeto da ICC desenvolvido através de BIM e da metodologia DFMA
Relevância do Problema	Estudo de alternativas de processos para a ICC
Avaliação do modelo	Será levantada a quantidade de partes da construção que o modelo terá antes e após o desenvolvimento dos projetos
Contribuições da Pesquisa	Após o desenvolvimento do projeto será discutido a possibilidade ou não da utilização dessas duas alternativas de processos para desenvolvimento de projetos da ICC
Rigor da Pesquisa	Pesquisa qualitativa, fontes trianguladas, modelo através de BIM e passível de análise e replicação, detalhamento do protocolo de coleta de dados, descrição detalhada dos elementos modelados, disponibilização online dos modelos
Projeto de Busca da Solução	Modelagem de um projeto convencional -> desenvolvimento através de DFMA -> modelagem do projeto desenvolvido
Comunicação da Pesquisa	A publicação será disponibilizada no site da universidade e os modelos estarão disponíveis online para acesso público

Fonte: adaptado de Hevner *et al.*, 2004.

1.7.1 Protocolo de coleta de dados

O protocolo de dados orienta o pesquisador durante a coleta de dados. Buscando transparência científica, é necessário demonstrar como o pesquisador irá atuar na busca de coleta de dados e por isso segue abaixo o protocolo de coleta de dados adotado na pesquisa realizada:

1. Foi realizada uma pesquisa em periódicos indexados de alto impacto sobre BIM e DFMA com o intuito de entender, definir e explicitar os conceitos desses processos. Ressalta-se que o estudo desses conceitos não se limitou ao contexto da construção civil, pois o material referente ao uso de DFMA na ICC é escasso.

2. Foram analisados e estudados projetos convencionais elaborados no ano de 2014. A elaboração desses projetos foi realizada pelo autor como profissional e antecede o início do estudo (para maiores informações consultar os apêndices 1 e 2). A edificação desses projetos é um condomínio residencial de cunho social e enquadra-se como Projeto de Interesse Social (PIS) pela norma NBR 12.271 (ABNT, 2006). Nesta norma são referenciados alguns tipos de materiais comumente utilizados na Construção Civil brasileira para diferentes tipos de edificações e essa norma será consultada para modelagem das partes de construção. Os projetos elaborados pelo autor foram o projeto hidráulico e o projeto estrutural, e esses foram os projetos modelados.

3. Foi desenvolvido um modelo virtual (modelo BIM) com base nos projetos desenvolvidos pelo autor. Essa modelagem foi realizada através do processo BIM com uso do software Revit da empresa Autodesk.

4. Foram coletados dados de quantidade de partes da construção do modelo elaborado. Essa coleta foi realizada através do próprio software de modelagem. Onde foi necessário contar partes que não puderam ser modeladas, foram realizadas contagens manuais dos projetos existentes ou foram estimadas as quantidades de partes através de composições do SINAPI (CEF, 2015).

5. Foi realizado um estudo do modelo BIM com o objetivo de aprimorar os projetos anteriormente desenvolvidos. Nessa etapa, utilizou-se o conceito de DFMA, conceito que embasou as tomadas de decisões para: diminuição do número de partes do produto, melhorias no projeto para facilitar a montagem, fabricação das partes, facilitação de manutenções futuras, etc. Foram definidas soluções diferentes das convencionais embasadas no conceito de DFMA, mas soluções já encontradas no mercado da construção civil brasileira. Foram pesquisadas soluções no mercado através da Internet e contato com fornecedores.

6. Foram realizadas alterações no modelo anteriormente desenvolvido no software Revit, adaptando as novas soluções à modelagem antiga e finalmente finalizado o artefato da pesquisa.

7. Novamente, foram coletados dados de quantidade de partes da construção do novo modelo adaptado com as novas soluções.

Após a coleta de dados foram examinados os possíveis benefícios que o processo BIM e a metodologia DFMA forneceram a etapa de desenvolvimento de projeto. Foi realizada uma análise comparativa da quantidade de partes das diferentes soluções de projeto.

1.7.2 Unidade de análise

A unidade de análise do estudo foi o modelo virtual desenvolvido com base nos projetos convencionais e posteriormente desenvolvido através da metodologia DFMA.

1.7.3 Testes de validade

Todo o estudo deve ser testado para saber se possui lógica em sua formulação e para verificar sua credibilidade. Yin (2001) propõe três testes para verificar a qualidade de uma pesquisa: validade do constructo, validade interna e validade externa.

1.7.3.1 Validade do constructo

Realizou-se primeiramente uma análise qualitativa através de extensa pesquisa bibliográfica, realizada com triangulação de fontes, pois uma informação presente em mais de uma publicação é mais confiável. Além disso, buscou-se em todas as oportunidades procurar fontes primárias e artigos indexados de alto impacto.

Também, foi anotado todo o processo de desenvolvimento do modelo, demonstradas todas as etapas de modelagem do estudo e apresentadas todas as decisões tomadas para modelagem das partes para que haja futuramente possibilidade de replicação dos modelos.

1.7.3.2 Validade interna

O estudo possui validade externa se comprovada a relação causal entre os elementos do estudo e os seus resultados (ROBSON, 2011). A pesquisa mostrou-se válida internamente posto que os resultados da revisão bibliográfica no capítulo 2 puderam ser comprovados com os resultados obtidos no estudo das modelagens.

1.7.3.3 Validade externa

Yin (2001) define que a validade externa diz respeito à possibilidade de os resultados da pesquisa possuírem abrangência para outras condições.

Durante a revisão bibliográfica tentou-se ao máximo triangular fontes, por intermédio da pesquisa de artigos que abordam temas semelhantes ao tema deste trabalho, da utilização de fontes primárias e confiáveis, como artigos publicados em periódicos indexados de alto impacto e livros altamente reconhecidos, o que visou propiciar resultados fiáveis.

Os resultados obtidos pelos estudos de modelagem podem ser reproduzidos por outros pesquisadores através do protocolo de dados e apresentação da etapa de modelagem presente no capítulo 3. Outra maneira de possibilitar a replicabilidade desse estudo em outras condições é pela disponibilização nos apêndices dos modelos para acesso de outros pesquisadores.

1.7.4 Delimitações da pesquisa

O autor do estudo entende as limitações de sua pesquisa e entende que o que foi analisado diz respeito a somente um projeto da ICC e apenas um software utilizado durante a modelagem, também, somente algumas partes de todo o projeto foram modeladas (instalações hidráulicas, estrutura e alvenarias de vedação) e somente uma medida de análise de desenvolvimento de projeto foi analisada (quantidade de partes da construção). Por esses motivos e por essas limitações o estudo se propôs a aprofundar e explicitar para os leitores o conhecimento que pôde ser construído sobre o assunto, discutir indícios sobre os benefícios de BIM e DFMA em um projeto da ICC e descobrir e analisar novos dados que foram gerados e coletados durante o desenvolvimento da pesquisa. Não houve pretensão de desobrir certezas sobre os benefícios que o processo BIM e a metodologia DFMA possam proporcionar aos projetos da ICC.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 apresentou-se uma breve contextualização sobre o tema escolhido para a elaboração do presente trabalho, o cenário atual da ICC, o problema de pesquisa, o objetivo do trabalho, a justificativa, a contextualização no Programa de Pós-Graduação de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, a estratégia de pesquisa, o protocolo de coleta de dados, testes de validade e as delimitações do trabalho.

No capítulo 2 são estudadas duas alternativas de processos para a ICC. A primeira, BIM, é um processo que pode ser utilizado durante todo o ciclo de vida do projeto. A segunda, DFMA, é um processo que objetiva melhoria do projeto com objetivo de facilitar a fabricação e montagem do produto. Foi realizada uma revisão bibliográfica desses dois conceitos com o intuito de utilizá-los para o desenvolvimento do projeto.

É apresentado ao leitor, no capítulo 3, os projetos que foram utilizados para o estudo, composto por dois projetos elaborados. Os projetos foram elaborados para um condomínio residencial. É apresentada a etapa realizada de elaboração da modelagem BIM dos projetos convencionais, o desenvolvimento do projeto através de soluções de mercado e pautadas na metodologia DFMA e também, a adaptação do modelo às novas soluções de projeto.

No capítulo 4, é apresentado o processo de contagem de partes dos modelos BIM e das partes que não foram possíveis de modelagem. O processo de contagem ocorreu para a primeira modelagem dos projetos convencionais e posteriormente para o modelo

com as novas soluções. Foram comparadas as quantidade de partes das diferentes soluções do produto.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões tecidas a partir da divulgação dos resultados bem como do estabelecimento de relações entre os resultados e a bibliografia apresentada no capítulo 2. Buscou-se confirmar ou rejeitar a hipótese de que BIM e DFMA podem oferecer contribuições para o desenvolvimento de um projeto da ICC visando a redução da quantidade de partes. Foi discutido o auxilio das soluções no desenvolvimento do projeto e na contagem de partes da construção.

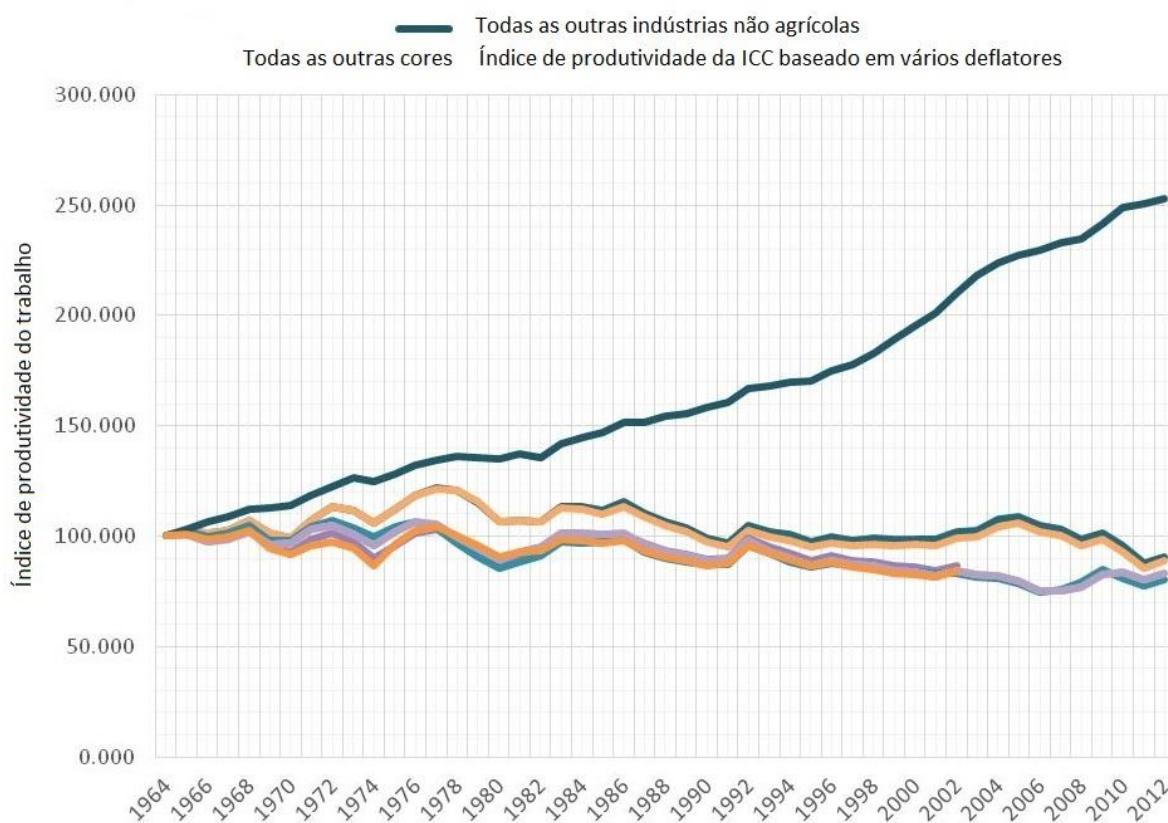
2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

Neste capítulo são abordados o contexto da indústria da construção civil e os conceitos de BIM e DFMA com o objetivo de introduzir os principais conceitos concernentes ao trabalho para, posteriormente, estabelecer relações com o estudo de caso.

2.1 CONTEXTO DA ICC

Pode-se afirmar que existem problemas na ICC em relação à produtividade. Observando a figura 2.2 pode-se concluir que nos últimos 50 anos a produtividade da ICC nos Estados Unidos diminuiu ou permaneceu estagnada, em contraste com outros setores também não agrícolas (automobilístico, aeroespacial, manufatura, etc.) que aumentaram drasticamente sua produtividade.

Figura 2.2. Produtividade da Indústria da Construção Civil comparada com as outras indústrias não agrícolas



Fonte: Adaptado de Teicholz, 2013.

Além da baixa produtividade a falta de controle e o desperdício de recursos é um problema comum no setor da construção, acarretando em atrasos de cronograma e

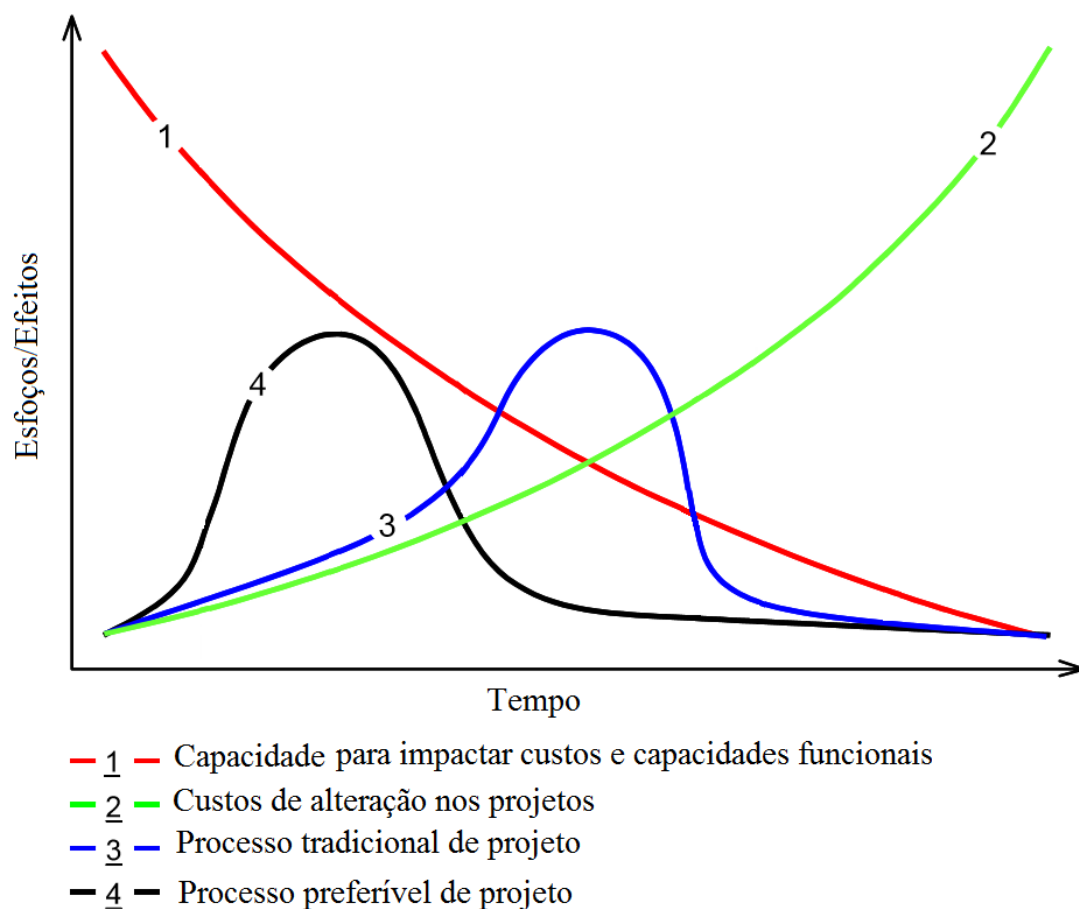
aditivos de custos não previstos. Cheng (2014) estudou os principais aspectos que influenciam no custo de uma obra, apresentados abaixo sob a forma de ranking dos principais fatores-chave:

1. Clareza do escopo do projeto no contrato; controle de custos;
2. Especificações e desenhos obscuros ou incertos;
3. Flutuação de preços do mercado; diferença entre planejamento e realidade; Falta de material ou fornecimento atrasado;
4. Controle de prazos;
5. Experiência;
6. Alterações durante execução; exigência de qualidade; capacidade de coordenação;
7. Avaliação do projeto não coincide com o pagamento;
8. Contrato das compras;
9. Geologia ou topografia;
10. Clima;
11. Desastres naturais.

A melhora do planejamento e do controle se faz essencial, porém a ICC ainda insiste na aplicação dos mesmos processos há décadas. Outro ponto importante é o de que os produtos da ICC são diferenciados das outras indústrias. Na ICC, os produtos são totalmente personalizados, únicos e pessoais, o que faz com que a informação armazenada no desenvolvimento de um produto não seja aproveitada para outro produto, além de gerar grande quantidade de informações novas para cada novo projeto.

O *Committee of the Construction Users Roundtable* (CURT) publicou um estudo em 2004 apontando que a habilidade de mudanças em um projeto reduz com o passar do tempo e que o custo para mudanças no projeto aumenta com o passar do tempo. Sendo assim, as decisões de projeto que definem o custo do projeto devem ser tomadas o quanto antes. Ferramentas e processos que auxiliem nessa antecipação das decisões podem contribuir para um melhor quadro do projeto.

Figura 2.3. Processos de projeto em relação aos custos e capacidade de alteração do projeto



Fonte: Adaptado de CURT, 2004.

Para facilitar a lida com a sobrecarga de informação concentradas na construção civil e tentar antecipar as tomadas de decisões, algumas alternativas vêm surgindo há algum tempo, como por exemplo a modulação e industrialização da ICC, bem como a utilização de tecnologias da informação e comunicação (TIC).

Desde a década de 1980, com a chegada da inovação tecnológica e com o avanço da TIC, vários estudos vêm sendo produzidos com o intuito de solucionar o problema da falta de informações precisas e oportunas na ICC através da utilização de TIC (NASCIMENTO e SANTOS, 2003).

Teicholz (2013) afirma que as principais oportunidades para uma mudança desse quadro de baixa produtividade é a utilização de modelagem da informação e da pré-fabricação para auxiliar em um maior controle e eficiência.

Duas alternativas para o processo tradicional da construção civil serão estudadas nos próximos capítulos: BIM, que tem sido estudado em larga escala na última década e

que já tem sido utilizado em alguns países com grande grau de maturidade na ICC (MCGRAW HILL, 2014; EASTMAN et al., 2014) e DFMA que é utilizado há muitas décadas em outras indústrias como a aeroespacial, automobilística e manufatura (BRALLA, 1996; BRALLA, 1999).

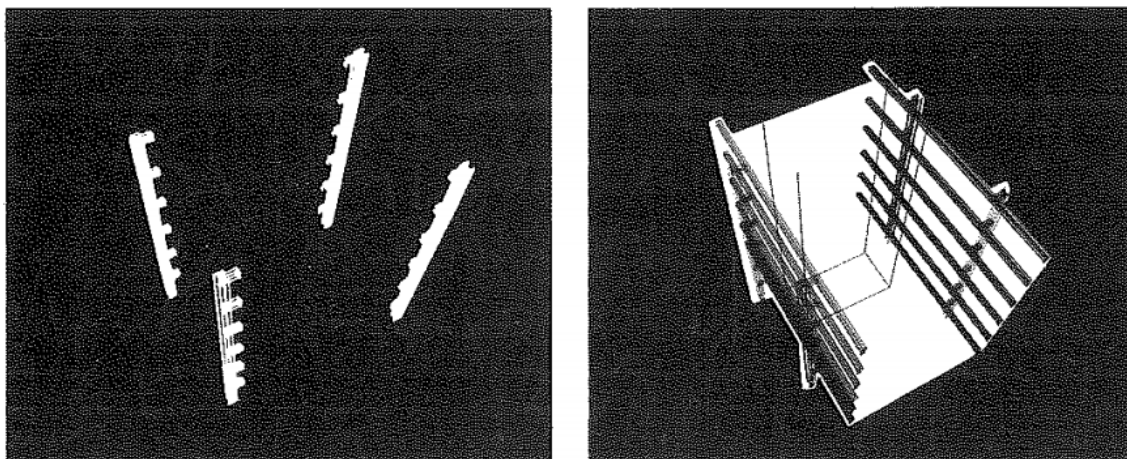
2.2 BIM

Neste subitem será estudado o processo BIM, sua origem, conceito, suas utilizações e alguns estudos de casos.

2.2.1 Origem do BIM

O conceito de BIM não é novo e remete ao ano de 1975 quando Eastman (1975) citou possibilidades para o uso de um modelo ao invés de desenhos impressos. Eastman (1975) afirmou que a utilização do modelo poderia ser benéfica em vários aspectos: utilização de 3D ao invés de 2D, melhor visualização de conflitos, possibilidade de alteração posterior mais facilmente realizável, etc. O autor também afirma neste estudo que há a possibilidade de retirar quantitativos e custos dos modelos virtuais.

Figura 2.4. Algumas telas produzidas por uma modelagem de um pequeno projeto de um escritório



Fonte: Eastman, 1975.

A nomenclatura *Building Information Model* surgiu somente em 1992 quando Nederveen et al. (1992) publicaram um artigo sobre a utilização de modelos de edifícios em diferentes níveis de ponto vista, fornecendo uma abordagem para facilitar a modelagem.

2.2.2 Conceito de BIM

Building Information Modeling – traduzido para português sob a norma NBR 12006 (ABNT, 2010) como Modelagem da Informação da Construção – é definido para Laiserin (2007) como um processo de criação e atualização de representações ricas em informações com o objetivo de melhorar a comunicação, simulação e otimização durante todo o ciclo de vida do projeto. Essa definição não faz referências a objetos paramétricos, tecnologias ou softwares. Laiserin (2007) defende a ideia de que BIM é um processo e que esse processo pode ou não ser automatizado por softwares.

Entretanto, Eastman et al. (2014) em seu Manual de BIM – guia obrigatório para envolvidos no tema BIM – definem BIM como tecnologia de modelagem para produzir, comunicar e analisar Modelos da Informação da Construção, e de acordo com os mesmos autores os Modelos da Informação da Construção são caracterizados por quatro propriedades:

1. Os componentes de construção carregam gráficos computáveis e atributos de dados que os identificam, bem como a parametrização, o que propicia que sejam manipulados de uma forma inteligente;
2. Os objetos modelados devem possuir dados que descrevam como eles se comportam, o que se faz necessário para possibilitar análises e processos de trabalho, como por exemplo a análise energética e estrutural;
3. O modelo deve possuir dados consistentes e não redundantes, tais que as alterações nos objetos sejam representadas automaticamente em todas as vistas do objeto;
4. A modelagem deve ser realizada com dados coordenados de forma que todas as vistas de um modelo sejam representadas de maneira coordenada.

Ou seja, a definição de Eastman et al. (2014) está diretamente ligada à tecnologia e aos modelos virtuais. Os autores complementam o conceito ressaltando o que não é considerado um Modelo da Informação da Construção:

1. Modelos que contenham somente dados 3D e objetos que não possuam atributos: esses modelos são bons para visualização, mas não possuem a inteligência a nível de análise de projeto;
2. Modelos que não possuam informações do comportamento da construção: esses modelos não possuem inteligência paramétrica, tornando as modificações muito trabalhosas;

3. Modelos que sejam compostos por arquivos 2D que precisem ser combinados para formar o modelo: é impossível garantir que o modelo será gerado corretamente ao juntar dimensões em 2D;
4. Modelos que permitam mudanças nas dimensões em uma vista e que não reflitam a mudança automaticamente nas outras vistas: isso permite erros que são muito difíceis de detectar posteriormente.

Outra afirmação por parte dos autores do Manual de BIM é a de que os objetos modelados para formar o Modelo da Informação da Construção devem ser obrigatoriamente paramétricos. Por esse motivo, o entendimento do conceito de objetos paramétricos é essencial, sendo definido por Eastman et al. (2014) como objetos: que possuem geometria com dados e regras associadas; cuja geometria é integrada, não podendo ser redundante e possuir inconsistências (por exemplo, uma representação em 2D do modelo 3D deve apresentar as mesmas dimensões); que ao serem inseridos em um Modelo de Construção e quando associados a outros objetos, a geometria seja modificada dialeticamente. Por exemplo, uma porta vai se ajustar automaticamente a uma parede; um interruptor de luz irá localizar-se automaticamente ao lado correto da porta; uma parede irá redimensionar-se automaticamente caso um forro ou telhado seja variável em sua altura, e assim por diante; que podem ser definidos em diferentes níveis de agregação, para que seja possível definir uma parede bem como os componentes relacionados. Os objetos podem ser definidos e gerenciados em qualquer nível hierárquico de agregação. Por exemplo, se o peso do tijolo for alterado, o peso da parede, também deverá mudar; que devem possuir regras para identificação de uma determinada mudança quando esta não for viável, seja por motivos de fabricação, comercialização, transporte, e assim por diante. Por exemplo, se uma parte da construção possuir um tamanho superior à máquina que o fabricará, ou ao caminhão que o transportará, o modelo deverá avisar e proibir; que necessitam ter a capacidade de comunicação para receber, transmitir, ou exportar conjuntos de atributos, como por exemplo: dados estruturais e físicos (resistência à compressão, densidade específica, etc), dados acústicos, dados energéticos, etc.

Para finalizar o conceito os autores do Manual de BIM ressaltam que BIM não é um software, e sim, que os softwares se utilizam da tecnologia da informação existente para proporcionar um ambiente de construção dos Modelos da Informação da Construção, que por sua vez são utilizados na Modelagem da Informação da Construção (EASTMAN et al., 2014).

Apesar desses conceitos estarem bem definidos na literatura, são muitos os casos em que há confusão entre termos. Abaixo segue uma tabela elaborada por Ding et al. (2014) comparando os termos mais largamente utilizados e as funções reais que cada termo define.

Tabela 2.4. Comparação entre termos utilizados e BIM

Termos/Funções	CAD 3D	Realidade virtual	Modelagem 4D	VDC	Modelagem nD	BIM
Informações podem ser obtidas de elementos 3D.			X	X	X	X
Visualização 3D. O modelo pode ser utilizado para o desenvolvimento de projetos.	X			X	X	X
Podem ser realizadas simulações de performance.				X	X	X
Pode ser realizado uma simulação virtual dos processos de construção.		X	X	X	X	X
Pode ser simulado as restrições do local.		X	X	X	X	X
O modelo pode ser usado posteriormente na manutenção das instalações de operação.					X	X

Fonte: Adaptado de Ding et al., 2014).

Apesar das divergências entre os conceitos apresentados pelos autores estudados, pode-se afirmar que o conceito de BIM na literatura e na academia é bem estabelecido, o mesmo não ocorre no setor comercial, acarretando em confusões sobre os termos utilizados e o conceito de BIM.

2.2.3 Interoperabilidade e IFC

Como são muitos os softwares utilizados em um mesmo projeto, há que existir um meio de comunicação entre eles para que as informações não se percam, para isso há a interoperabilidade, que é a capacidade de transmitir os dados entre os softwares. Essa troca deve ser realizada de maneira automática, ou no mínimo, eliminar a

necessidade de copiar manualmente os dados gerados de um aplicativo para outro (EASTMAN et al., 2014).

A Industry Foundation Class (IFC) é um esquema desenvolvido para padronizar um extensivo conjunto de representações de informações de construção para a troca de dados consistentes entre softwares BIM e para proporcionar a interoperabilidade (EASTMAN et al., 2014).

2.2.4 Modelagem nD

As informações de todo o ciclo de vida do projeto podem ser embutidas no modelo e há algum tempo a modelagem nD (n Dimensões) vem se tornando uma linguagem sinérgica associada à TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) na indústria de construção (AOUAD et al., 2006).

Para Lee et al. (2003), um modelo nD é uma extensão do modelo de informações de construção feito através da incorporação de toda a informação necessária em cada fase do ciclo de vida de uma construção.

Entretanto, Hartmann et al. (2008) apontam que o correto é pensar em 4D, como forma de adicionar mais uma dimensão ao 3D. O autor explica que a quarta dimensão não precisa necessariamente ser o tempo, podendo ser a estimativa de custos, o estudo sobre renderizações, as operações de construção, o gerenciamento de documentos, etc. Em outras palavras, daria para explicar o conceito nD da seguinte maneira: o modelo 3D seria a representação dos objetos utilizando os eixos X, Y e Z (altura); já o modelo 4D seria a utilização do 3D com o acréscimo de informações sobre uma nova esfera da construção; logo, o modelo 5D acrescentaria uma outra esfera, e assim por diante. As possibilidades são infinitas e essas esferas do conhecimento poderiam ser, por exemplo, dados sobre as análises de custo, cronograma, conforto térmico, acústica, energia embutida, cálculo estrutural, sustentabilidade, etc.

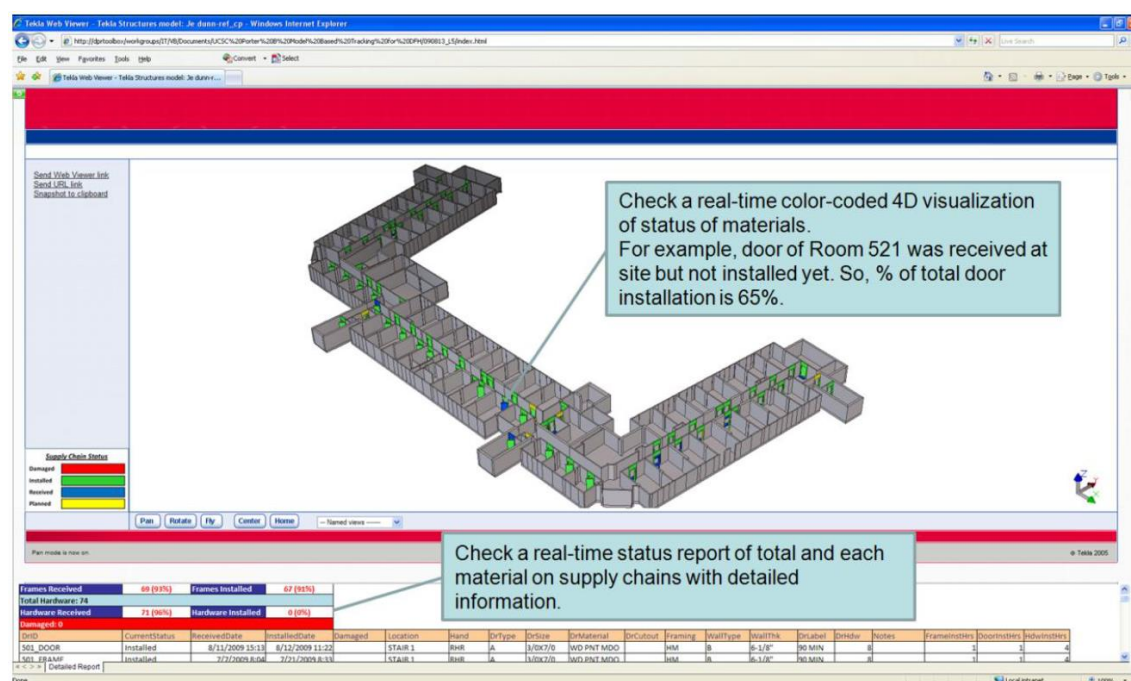
2.2.5 Diversas utilizações para o BIM

São possíveis outras aplicações para o BIM, que vêm surgindo com o avanço das pesquisas. A seguir foram relatados alguns estudos de outras aplicações encontrados na bibliografia dos últimos 5 anos.

Cho et al. (2010) desenvolveram um método para integrar o modelo BIM e as informações que surgem ao vivo no local da execução. O método engloba a utilização do

modelo BIM, os princípios da construção enxuta, captura de informações em tempo real e um *website* sendo atualizado. Um projeto piloto foi realizado na Universidade da Califórnia para fazer o controle da execução das portas. Segue na figura 2.5 a utilização dessa metodologia para controle de instalações de portas.

Figura 2.5. Modelo BIM atualizado com o status de instalação das portas de uma edificação



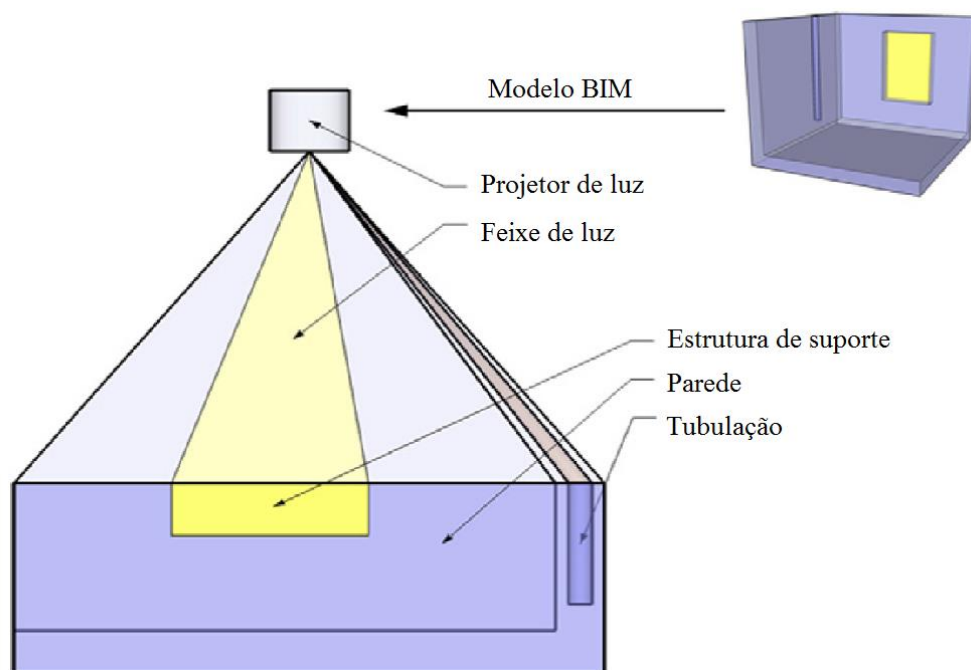
Fonte: Cho et al., 2010.

Leite et al. (2011) estudaram sobre o esforço necessário para realizar uma modelagem e os diferentes níveis que uma modelagem pode possuir. O esforço nesse estudo foi calculado através da quantidade de objetos modelados dividida pelo tempo de modelagem. Neste estudo foram definidos três níveis de detalhamento dos objetos: aproximação, precisão e fabricação. Após encontrar os resultados, constatou-se que o nível de detalhamento não está diretamente relacionado ao tempo e ao “esforço” necessário para realizar uma modelagem. O aumento no tempo sobre a quantidade de objetos variou, tendo havido casos em que o tempo foi menor e casos em que o tempo foi maior.

Kim et al. (2011) propõem a utilização de um modelo para auxiliar na tomada de decisões referentes ao tamanho do espaço que a construção deve possuir. Os autores questionam que a decisão como é tomada atualmente é falha e que se houvesse um auxílio computacional a decisão poderia ser mais confiável e mais sustentável, pois muitas vezes as edificações são projetadas maiores do que o necessário.

Rebolj et al. (2011) estudaram a utilização de BIM em conjunto com a nano tecnologia e biotecnologia. Os autores apresentam um conceito de construção inovador. Nesse novo sistema de construção, a construção seria realizada por *nanorobots* guiados através da luz, projetada de acordo com um modelo BIM. A ideia principal é a de que os *nanorobots* possam retirar as moléculas de carbono do dióxido de carbono presente no ar, contribuindo para a sustentabilidade. Os autores entendem que são necessários ainda muitos anos de pesquisa nas áreas envolvidas (nanotecnologia, tecnologia da informação, projeção de luz), mas que isso será possível com o desenvolvimento das pesquisas. Segue na figura 2.6 a representação desse conceito inovador de execução.

Figura 2.6. Representação do sistema construtivo. O feixe de luz indica onde os nano-robôs devem construir paredes e tubulações de carbono



Fonte: Adaptado de Rebolj et al., 2011.

Sacks et al. (2013) realizaram um estudo sobre a utilização de BIM e a construção enxuta para controle e gerenciamento de construções. Neste artigo essa união foi chamada de KanBIM. Os autores demonstraram que os relatos de utilizadores de KanBIM afirmam que o mesmo pode contribuir para a análise do fluxo de trabalho, negociação e iteração entre as equipes de trabalho, planejamento de construção enxuta e melhorias na comunicação e visualização do fluxo de trabalho. Segue um exemplo da utilização de KanBIM nas figuras 2.7 e 2.8.

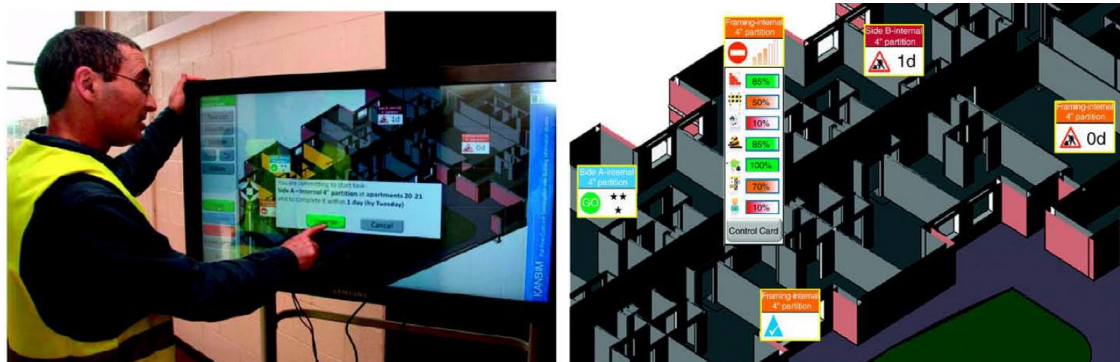
Kim et al. (2013b) realizaram um estudo comprovando que BIM pode auxiliar na tomada de decisões para construções de túneis. Os autores realizaram um modelo 4D para definir o traçado de um túnel onde haviam variáveis como o tipo de terreno do local a partir do modelo 3D, e outras informações adicionadas ao modelo como os dados do terreno. Foram simulados diferentes traçados automaticamente e, posteriormente definido o melhor traçado.

Figura 2.7. Modelo KanBIM representando a edificação e as informações referentes ao status da produção: se o local está em execução, se o trabalho está parado por algum motivo, se está liberado como frente de trabalho, etc.



Fonte: Sacks et al., 2013.

Figura 2.8. Usuário utilizando KanBIM para atualizar o status da produção de drywall em um monitor de 40", resistente a qualquer condição de tempo, com sensibilidade ao toque e montado sobre um carrinho móvel.



Fonte: Sacks et al., 2013.

Kim et al. (2013a) estudaram a possibilidade da geração automática de cronogramas através de um modelo BIM. Os autores propuseram um sistema desenvolvido em ifcXML que cria tarefas de construção, calcula a duração das atividades, aplica regras de sequenciamento e produz um cronograma. Um protótipo desse sistema foi desenvolvido para importar representações BIM com elementos básicos. Foi elaborado um protótipo e realizada a tentativa de gerar um cronograma automaticamente, tendo sido o experimento bem-sucedido. A tecnologia ifcXML mostrou-se bastante consistente.

2.2.6 Benefícios da utilização de BIM

Para Eastman et al. (2014) os principais benefícios gerados pela utilização de BIM durante a pré-construção são para os proprietários. O estudo de viabilidade e concepção do projeto pode ser facilitado e possuir maior confiabilidade. É interessante realizar uma modelagem esquemática para gerar maior confiabilidade para os custos, requisitos funcionais, sustentabilidade, etc. Nesta fase, as alternativas de projeto podem ocorrer mais facilmente com o auxílio do BIM.

Os autores afirmam ainda que durante o desenvolvimento do projeto, os benefícios são diversos como por exemplo: a visualização antecipada e mais precisa da edificação através do modelo 3D; correções no modelo acarretam em correções automáticas nos desenhos 2D através da parametrização dos objetos; geração de desenhos 2D de maneira automatizada garantindo a confiabilidade e reduzindo o tempo da produção do projeto; colaboração antecipada e facilitada entre as diferentes disciplinas do projeto. A verificação das funcionalidades da edificação pode acontecer antecipadamente, a extração de quantitativos e a avaliação de custos do projeto pode ser realizada de maneira mais confiável; a avaliação da sustentabilidade e eficiência energética da edificação pode acontecer mais precocemente, o que não ocorre com o processo convencional, que pode acarretar em alterações no final da etapa do projeto (EASTMAN et al., 2014).

Eastman et al. (2014) entendem que a fabricação das partes da construção e a própria construção são afetadas diretamente quando o processo BIM é implementado no projeto,

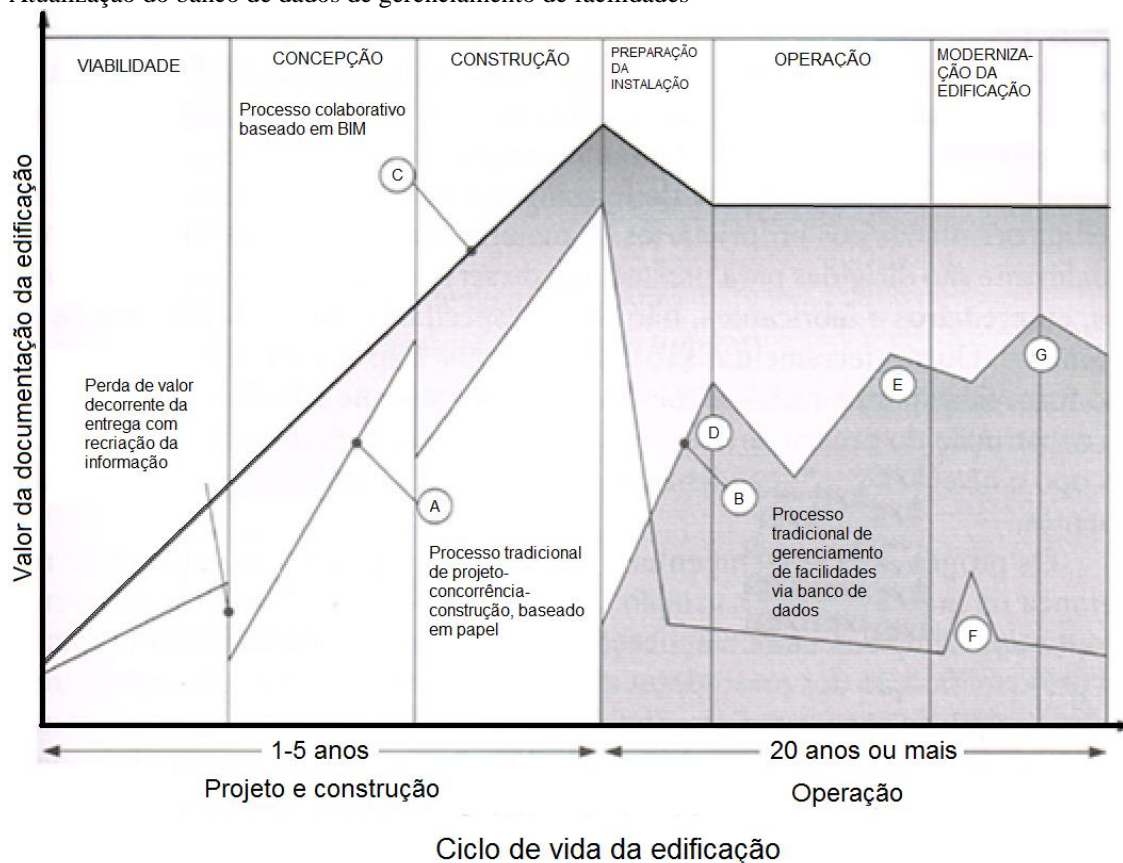
O autor discute alguns dos principais benefícios gerados para esta específica etapa. Entre os benefícios citados, observa-se: uma melhor sincronização do projeto e planejamento com a construção através da modelagem nD, adicionando o tempo ao

modelo 3D; a possibilidade de simular o layout do canteiro e a movimentação de maquinário; erros de projeto e omissões não são verificados somente na hora da construção já que os projetistas e a construtora devem atuar em conjunto na hora de elaborar o modelo, tomando decisões juntos, visto que tais decisões repercutem em todo o ciclo de vida do projeto; há uma reação mais rápida a alterações propostas durante a execução, utilizando os princípios de parametrização e geração de desenhos de maneira automática; existe a possibilidade de utilizar o modelo para fabricação das partes, entretanto, isso ainda não é muito utilizado na ICC; há facilidade na hora de implementar a construção enxuta ao projeto já que a aproximação entre a construtora e os projetistas acontece de maneira mais sólida; a sincronização da execução e projeto na hora de comprar os materiais acontece de maneira mais fluida, podendo até mesmo serem modeladas as informações de compra dos componentes como por exemplo o modelo, preço, marca, etc. (EASTMAN et al., 2014).

Os benefícios da utilização de BIM para a edificação na etapa posterior à finalização da construção são apontados por Eastman et al. (2014): melhor gerenciamento das operações das edificações, pois a equipe de manutenção possuirá um modelo munido com todas as informações do projeto e da execução; integração entre sistemas de operação da edificação e o modelo BIM pode ser desenvolvida, gerando um melhor gerenciamento das facilidades.

Outro ponto importante é que a gestão da informação fica facilitada. O modelo recebe toda a informação gerada por todos os envolvidos no projeto, garantindo que não haverá perda de informação e erro na troca de informação entre os envolvidos. Na figura 2.9 é apresentado um ciclo de vida de um projeto genérico contendo a comparação entre a gestão de informação utilizando o processo BIM e utilizando o processo convencional.

Figura 2.9. Representação da produção e armazenamento da informação em diferentes etapas do ciclo de vida da edificação. A) Processo tradicional, com documentação baseada em desenhos e estágio único. B) Sistema de banco de dados tradicional para gerenciamento de facilidade. C) Entregas de documentação baseadas em BIM através de todo o processo de projeto e operação. D) Configuração de banco de dados de gerenciamento de facilidades. E) Integração do Gerenciamento de Facilidades com sistemas de gestão empresarial. F) Utilização da documentação “as-built” para modernizações. G) Atualização do banco de dados de gerenciamento de facilidades



Fonte: Adaptado de Eastman et al., 2014).

Através de um estudo sistemático quantitativo de 35 publicações de estudos de caso que utilizaram BIM, Bryde et al. (2013) afirmam que os principais benefícios apontados pelos envolvidos nos projetos são: a redução ou maior controle de custos, redução ou maior controle de tempo, melhora na comunicação em geral, melhora na coordenação em geral, aumento na qualidade do projeto; e que o principal problema apontado é referente aos *softwares*. O resultado do estudo de Bryde et al. (2013) segue apresentado na tabela 2.2. São apresentados os temas citados nas publicações, a quantidade de citações sobre o tema, a quantidade de projetos que citaram o benefício e a porcentagem em relação ao total. Há uma diferenciação entre “ponto positivo” e “ponto negativo”, o que representa se a citação na publicação possuía o caráter de melhora do tema ou de piora após a implementação do BIM.

Tabela 2.5. Os temas mais citados nas publicações levantadas

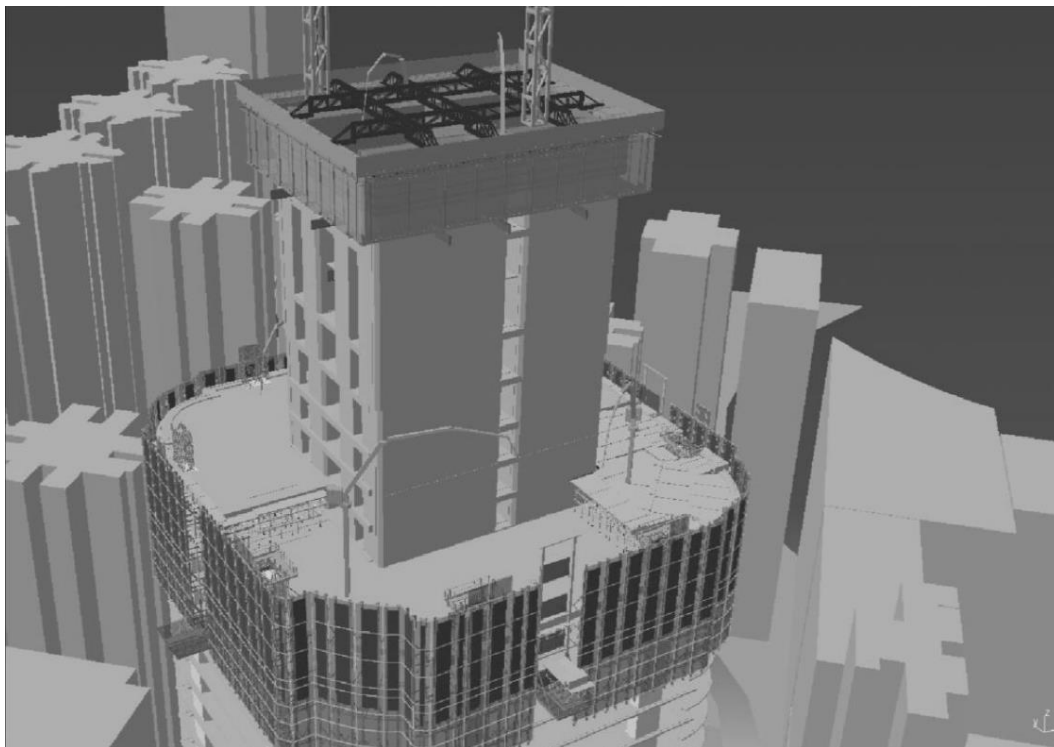
Benefício	Pontos positivos			Pontos negativos		
	Total de citações	Total de projetos que citaram	% de projetos	Total de citações	Total de projetos que citaram	% de projetos
Controle ou redução de custo	29	21	60,00	3	2	5,71
Controle ou redução de tempo	17	12	34,29	4	3	8,57
Comunicação	15	13	37,14	0	0	0,00
Coordenação	14	12	34,29	7	3	8,57
Controle ou aumento da qualidade	13	12	34,29	0	0	0,00
Redução de riscos	8	6	17,14	2	1	2,86
Esclarecimento do escopo	3	3	8,57	0	0	0,00
Melhora da organização	2	2	5,71	2	2	5,71
Questões de <i>softwares</i>	0	0	0,00	9	7	20,00

Fonte: Adaptado de Bryde et al., 2013.

Outro estudo importante foi realizado por McGraw Hill (2014), que através de questionários fechados entrevistou 727 usuários do processo BIM no setor da construção, em 10 países ao redor do mundo, entre eles o Brasil. O relatório divulgou a opinião de usuários de BIM sobre sua utilização. No estudo, os usuários tiveram que responder a um questionário fechado, com perguntas sobre os principais benefícios da utilização do BIM nas empresas deles. Os principais itens citados foram: i) redução de erros e omissões (41%); ii) colaboração com os proprietários (35%); iii) melhora da imagem da organização (32%); iv) redução de retrabalho (31%); v) redução do custo da construção (23%); vi) melhor controle dos custos (21%); vii) redução da duração total do projeto (19%).

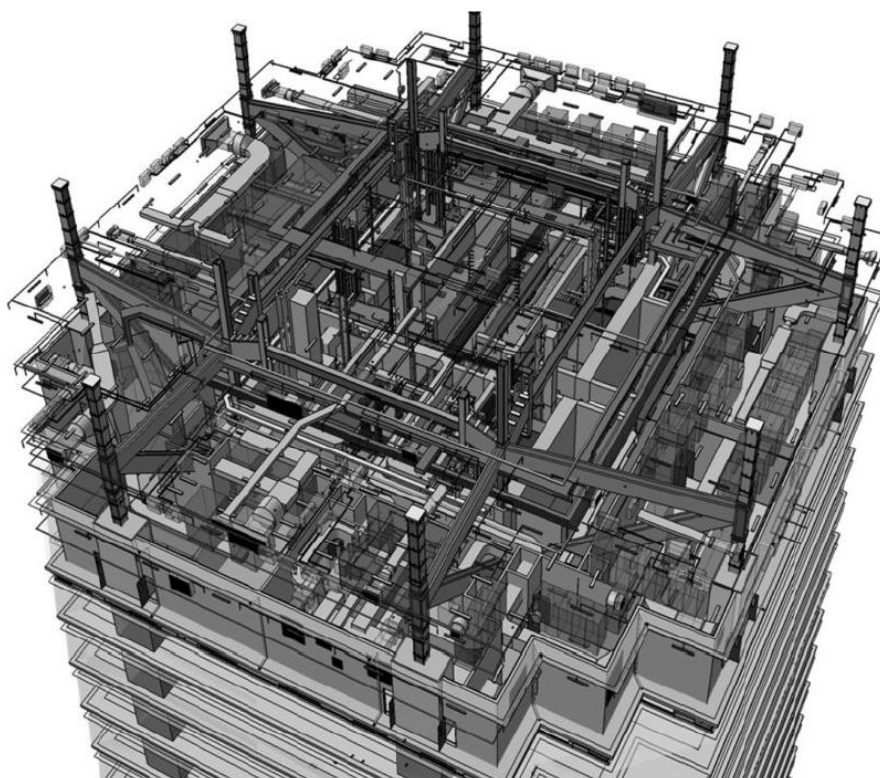
Outras informações importantes reportadas nesse relatório de McGraw Hill (2014) são: i) três quartos das empresas de construção estudadas apontam um ROI positivo após a implementação de BIM; ii) a expectativa das empresas para os próximos dois anos é de que os trabalhos que envolvem BIM aumentem em aproximadamente 50%; iii) a diminuição do tempo de ROI dos investimentos em BIM está diretamente ligada ao nível de engajamento das empresas com o processo.

Figura 2.11. Modelagem do planejamento da obra através de formas deslizantes.



Fonte: Adaptado de Eastman et al., 2014).

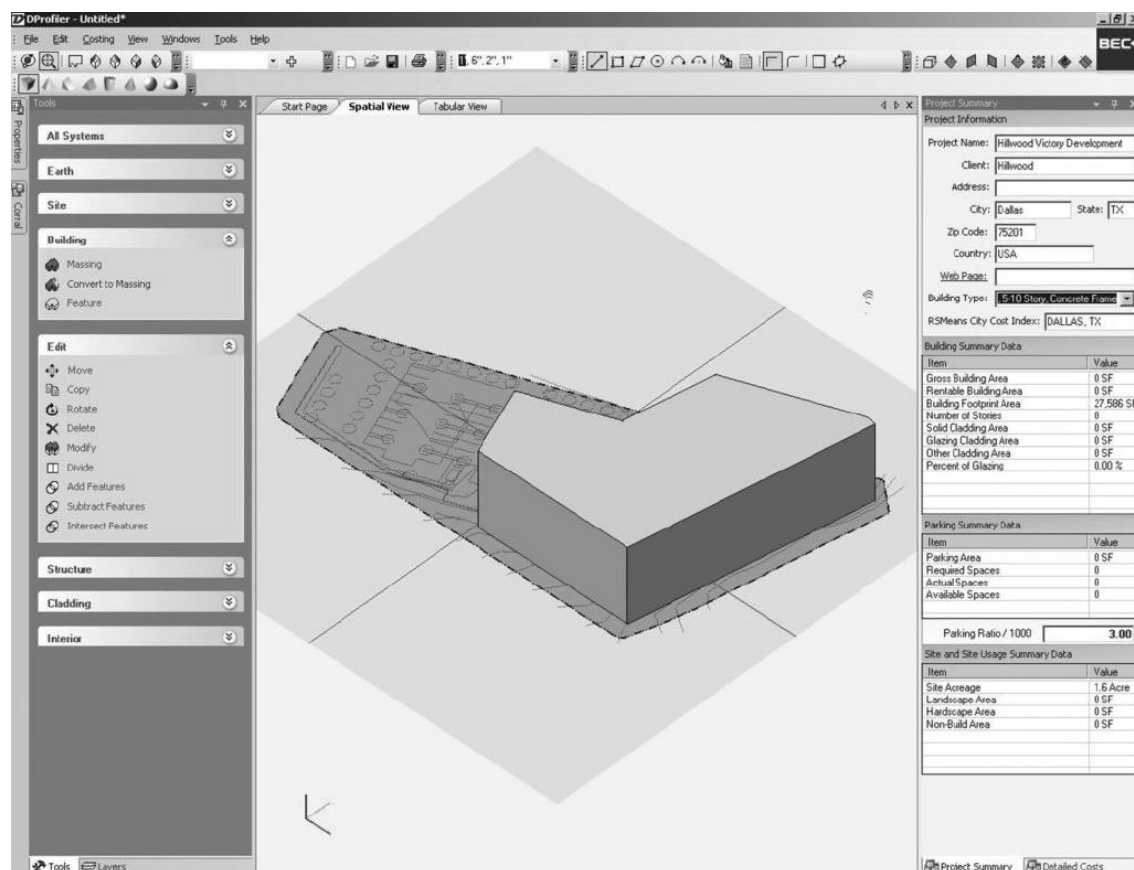
Figura 2.12. Edificação *One Island East* modelada com todas as disciplinas.



Fonte: Adaptado de Eastman et al., 2014).

O caso a seguir é uma utilização de BIM para análise de cenários e estimativa de custos para uma edificação localizada em *Dallas* nos EUA (EASTMAN et al., 2014). Primeiramente foi realizada a modelagem de concepção para descobrir a viabilidade. Na figura 2.13 segue a concepção do projeto e uma tela do *software* DProfiler que foi utilizado.

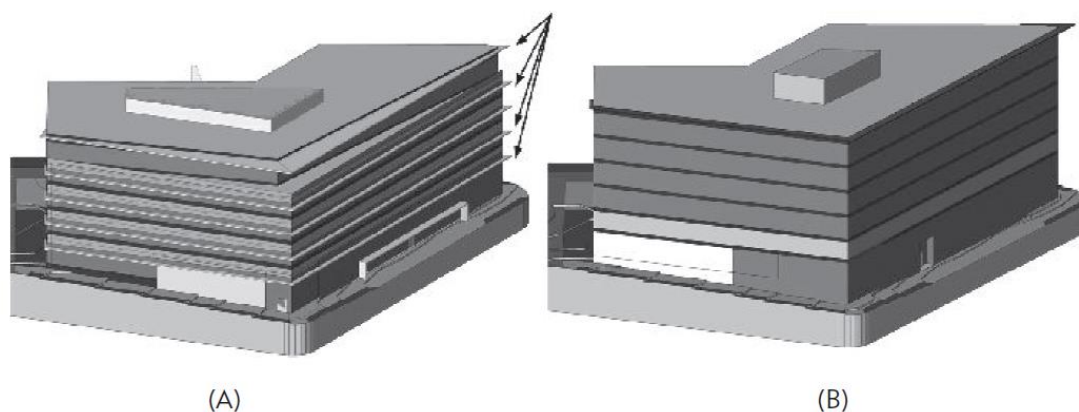
Figura 2.13. Modelo com informações sobre custos.



Fonte: Adaptado de Eastman et al., 2014).

Foram analisadas algumas alternativas de projeto, conforme apresentado na figura 2.14.

Figura 2.14. Opção A) com abrigos para a proteção contra a luz solar; opção B) utilização de fita vítrea para proteção solar.

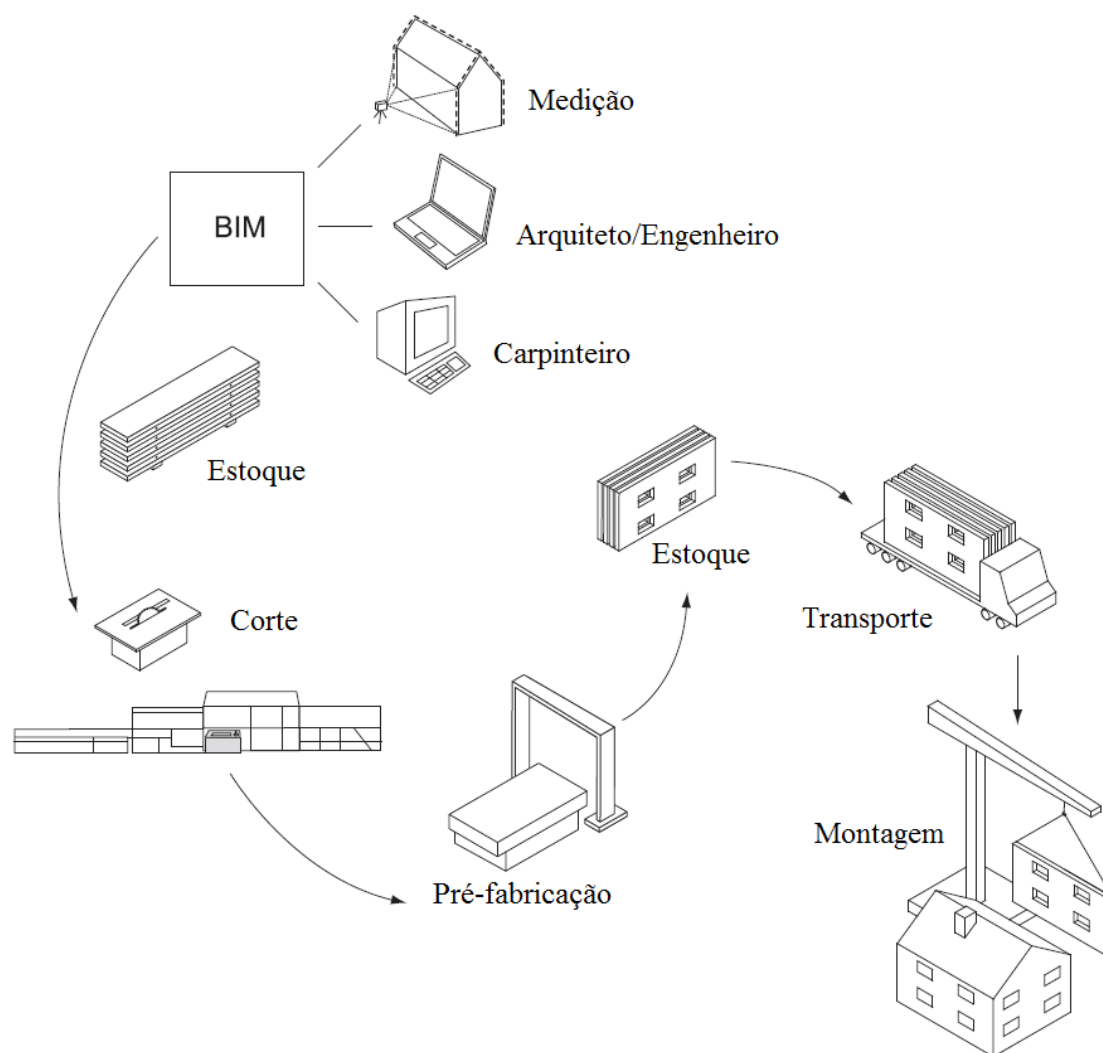


Fonte: Adaptado de Eastman et al., 2014).

As decisões de projeto foram tomadas através da modelagem das alternativas e após o levantamento de custos para cada situação.

Seguindo a tendência de utilização de BIM e da industrialização da ICC, Larsen et al. (2011) realizaram um estudo de caso sobre a revitalização de fachadas com *Wood Frame* em *Buchloe* na Alemanha. O método consistiu em realizar a medição do local e, para isso acontecer com precisão, foi adotada a fotogrametria com câmera especial, registrando uma nuvem de pontos. Com essa nuvem de pontos, os arquitetos e engenheiros conseguiram conceber um modelo BIM, definindo como seriam as novas fachadas: materiais, arquitetura, estrutura, etc. Após essa modelagem os carpinteiros produziram os desenhos para a fabricação das partes necessárias. Essas peças foram produzidas em fábrica com um controle rigoroso de medidas (± 5 mm) e foram transportadas ao local final. A montagem ocorreu de maneira muito rápida com os projetos e as partes já produzidas (LARSEN et al., 2011).

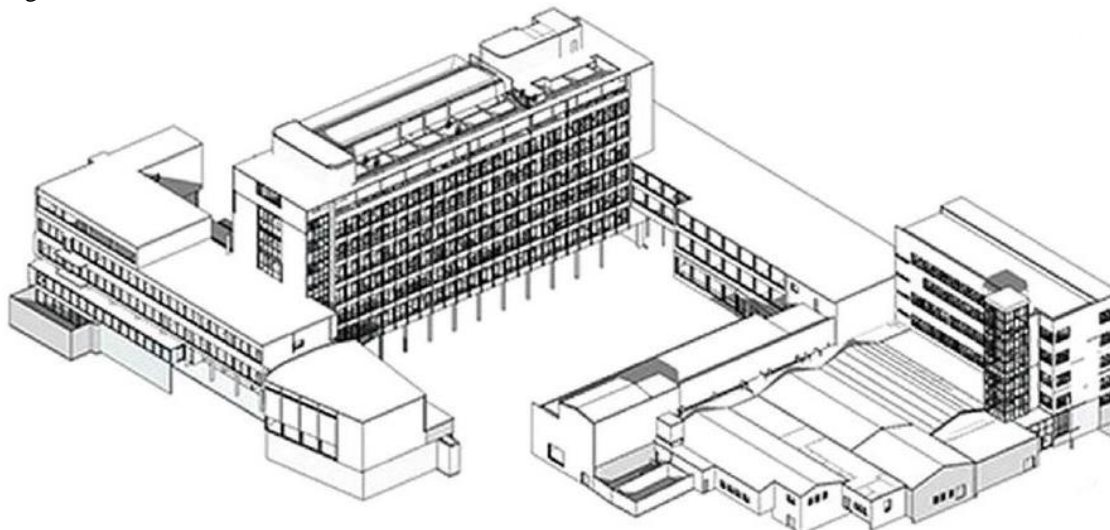
Figura 2.15. Processo de medição, fabricação e montagem.



Fonte: Adaptado de LARSEN et al., 2011.

O estudo de Kassem et al. (2015) objetivou analisar a implicação para a gestão das instalações de uma edificação complexa após a aplicação de BIM durante todo o ciclo de vida do projeto. Os autores analisaram 32 projetos no campus da Universidade de Northumbria na Inglaterra que somam uma área de 120.000 m².

Figura 2.16. Um dos modelos do estudo de caso da Universidade de Northumbria



Fonte: Adaptado de Kassem et al., 2015.

Alguns dos benefícios da utilização de BIM para a gestão das instalações apontados pelos autores são: melhora nos processos de execução dos trabalhos, facilidade de acesso à informação, capacidade de anexar dados e informativos ao modelo, capacidade de visualizar qualquer seção ou elevação do modelo e a precisão dos dados obtidos do modelo.

Os autores afirmam que a metodologia BIM pode auxiliar a gestão de instalações de uma edificação, que ainda é inexplorado nessa área e que pode se tornar um fator chave, são muitos os benefícios que ainda podem ser descobertos para essa utilização de BIM.

2.2.8 Conclusões acerca do BIM

A implementação do processo BIM no projeto pode gerar muitos benefícios. Entretanto, para que o modelo possa auxiliar na obtenção de benefícios – tais como redução de erros e omissões, integração dos envolvidos no projeto, redução de retrabalho, redução do custo da construção, melhor controle de custos e prazos – há que utilizá-lo da melhor forma possível, munindo-o com informações através da modelagem de todo o ciclo de vida do projeto e envolvendo todos os interessados no projeto.

Para que o processo BIM seja bem-sucedido, as equipes de projetos multidisciplinares devem trabalhar em um único modelo, possuir boa integração e utilizar todo o potencial do BIM. Isso é essencial para que aconteça o verdadeiro processo da Modelagem da Informação da Construção.

Na tabela 2.6, a seguir, estão listadas as publicações que foram utilizadas para elaborar a revisão sistemática sobre BIM neste capítulo.

Tabela 2.6. Publicações utilizadas para a revisão sistemática sobre BIM.

Autor, Ano	Tema da publicação
Eastman, 1975	Esta a primeira publicação em que os princípios de BIM surgiram, é um estudo de Eastman sobre a utilização de um modelo virtual ao invés de desenhos impressos.
Nederveen et al., 1992	É a primeira publicação a utilizar o termo <i>Building Information Modeling</i> .
ABNT, 2010	É a norma que regulamenta a Modelagem da Informação da Construção no Brasil.
Laiserin, 2007	É sobre o conceito de BIM e sobre seu futuro.
Eastman et al., 2014	Manual de BIM, guia obrigatório para qualquer envolvido com BIM.
Ding et al., 2014	É um artigo sobre o estudo de BIM 4D.
Aouad et al., 2006	Um artigo sobre a construção do futuro de BIM.
Lee et al., 2003	Estudo sobre a aplicação nD em BIM.
Hartmann et al., 2008	Estudo sobre a utilização de modelos 3D e 4D.
Cho et al., 2010	Artigo sobre BIM no auxílio ao controle de execução, neste estudo de caso específico, controle de instalação de portas.
Leite et al., 2011	É um estudo sobre o esforço necessário para realizar uma modelagem e sobre os diferentes níveis de detalhamento.
Kim et al., 2011	BIM para auxílio na tomada de decisões, neste caso, sobre o tamanho dos espaços da edificação.
Rebolj et al., 2011	É um artigo sobre a utilização de BIM e nanotecnologia. É proposto um novo sistema construtivo através de nanorobos.
Sacks, 2013	Um artigo sobre BIM e KanBIM para controle do status da execução.
Kim et al., 2013 (b)	BIM para auxílio de tomadas de decisões. Neste caso foi realizado um modelo 4D para definição do traçado de um túnel.
Kim et al., 2013 (a)	BIM e a geração de cronogramas automáticos.
Bryde et al., 2013	Artigo sobre os benefícios do BIM.
McGraw Hill, 2014	Pesquisa quantitativa sobre a utilização do BIM.
Larsen et al., 2011	Estudo de caso sobre a utilização de painéis pré-fabricados em madeira para revitalização de fachadas.
Kassem et al., 2015	Estudo sobre a utilização de BIM e gestão das instalações de uma obra. Os autores analisaram um estudo de caso complexo.

2.3 DFMA

Neste subitem será estudado o DFMA, sua origem, conceito, seus princípios e recomendações e alguns estudos de casos. Nesta dissertação adotou-se a terminologia de DFMA, separando DFA (*Design for Assembly* – DFA) de DFM (*Design for Manufacturability* – DFM). De acordo com Bralla (1996) esta é a mesma terminologia adotada por Boothroyd-Dewhurst.

2.3.1 Origem do DFMA

O conceito de DFM não é novo. A primeira pessoa a utilizar os conceitos de fabricação em massa com controles rígidos de tolerância foi um francês chamado Le Blanc, em 1788. O método era utilizado para produção de mosquetes e envolvia não somente a fabricação, mas a montagem das partes e o estoque dos produtos. Porém, após Le Blanc falecer, seu método se deteriorou e foi abandonado (BRALLA, 1996).

Na virada do século XIX, Eli Whitney, engenheiro mecânico e inventor, desenvolveu um método para produção de mosquetes para o governo dos Estados Unidos. A sua principal contribuição foi a de projetar partes que deveriam possuir certa tolerância de dimensões e que poderiam servir para qualquer mosquete fabricado. Antes de Eli Whitney, nos Estados Unidos, qualquer produção era manual e cada parte fabricada era sob medida para cada produto. Outra contribuição importantíssima de Eli Whitney, foi a de desenvolver processos de fabricação que dependiam de equipamentos elétricos, maquinário e instrumentos de medição ao invés da habilidade de um artesão para controlar as medidas e a fabricação (BRALLA, 1996).

Outra personalidade importante no desenvolvimento histórico do DFMA foi Henry Ford, por seu uso extensivo e avançado de sistemas de linha de montagem. Seu sucesso e suas maiores contribuições dizem respeito ao seu foco na simplificação de projetos, padronização de partes, alta qualidade de seus produtos, divisão dos processos de trabalho em pequenos ciclos repetitivos do processo e a procura pela alta eficiência. Ford revolucionou a indústria automobilística utilizando esses princípios (BRALLA, 1996).

A Divisão de Engenharia de Metais da Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (*Metals Engineering Division of the American Society of Mechanical Engineers*) conduziu uma pesquisa em 1941 que revelou a necessidade dos engenheiros e projetistas de conhecer melhor as características e propriedades dos metais. Em 1958,

foi publicado o livro “Processos de Engenharia de Metais” (*Metals Engineering Processes*), editado por Roger W. Bolz. O livro apresenta informações e características dos metais e processos necessários para a melhor utilização dos metais, como fundição, forjamento, extrusão, usinagem, etc. Roger W. Bolz foi a primeira pessoa a organizar, compilar e publicar uma metodologia com descrição de processos utilizando os princípios de DFM, apesar de não utilizar o termo em sua publicação.

Após a publicação desse livro, Roger W. Bolz continuou a publicar artigos sobre o tema e, em 1947, publicou o livro “Processos de Produção – O Manual de Produtibilidade” (*Production Processes-the Producibility Handbook*) (BRALLA, 1996).

A empresa *General Eletric* desenvolveu em 1960 um manual interno chamado “Manual de Produtibilidade para Manufatura” (*Manufacturing Producibility Handbook*). Nesse manual, os termos de Produtibilidade (*Producibility*) e Manufaturabilidade (*Manufacturability*) apareceram pela primeira vez (BRALLA, 1996).

Geoffrey Boothroyd foi uma das personalidades que contribuíram para o desenvolvimento do DFM. Em 1968, em conjunto com Redford, Boothroyd publica o livro “Montagem Mecanizada” (*Mechanized Assembly*). Nesse livro Redford e Boothroyd concluem que o projeto é muito mais importante do que o uso da mecanização para a redução do custo de montagem (BOOTHROYD et al., 1968¹ apud BRALLA, 1996). Seus estudos abrangiam a área de montagem automática por máquinas e uma de suas principais contribuições para o conceito de DFM foi a conclusão de que um projeto realizado com os princípios de DFM produz um impacto maior nos custos do que a mecanização dos processos (BRALLA, 1996).

O manual *Design for Manufacturability* escrito por Bralla (1999) é um livro referência para a parte prática de DFM no desenvolvimento de produtos. O livro é uma atualização e reorganização de publicações anteriores e reúne informações detalhadas sobre o desenvolvimento de projetos como: tolerância das partes, limites de processo, acabamento de superfície, tipos de partes, materiais e suas utilizações, processos de fabricação, etc. É um manual bem completo, entretanto, é totalmente voltado ao desenvolvimento de produtos mecânicos, o seu uso para o desenvolvimento de produtos da construção civil é difícil.

¹ BOOTHROYD, G.; REDFORD, A. H. **Mechanized Assembly**. McGraw-Hill, Londres, 1968.

2.3.2 Conceito de DFMA

Qualquer resolução de problemas envolve a tomada de decisões. Diretrizes de projeto auxiliam no processo de tomada de decisão. Muitas vezes as diretrizes são intuitivas e aprendidas de forma empírica, com experiências passadas, leituras de outras experiências, conversas com colegas de profissão, etc. (EDWARDS, 2002).

O uso de orientações para as etapas de desenvolvimento do projeto é uma boa prática de projeto para fabricação e montagem e pode auxiliar nas tomadas de decisões, melhorando a eficiência da etapa de desenvolvimento do projeto (EDWARDS, 2002).

As diretrizes do DFM podem contribuir para o desenvolvimento de um produto melhor em vários sentidos como: maior confiabilidade, boa aparência, menor custo, facilidade de manutenção, projetos-padrão, função adequada, etc., mas o seu principal objetivo é melhorar a facilidade de fabricação (BRALLA, 1996).

Facilitar a fabricação é o mesmo que facilitar a maneira como o produto é produzido. Isso acontece quando o produto fica mais simples, suas partes são padronizadas e quando possui uma menor quantidade de peças. Esses fatores minimizam o trabalho, os materiais e custos gerais para a fabricação (BRALLA, 1996).

Bayoumi (2000) define DFMA como a prática de projetar produtos com a manufatura em mente, de forma que possam ser desenvolvidos produtos com o menor custo possível; menor tempo necessário; qualidade e confiabilidade necessários; que atenda às necessidades do cliente; e que seja competitivo no mercado.

Para Bralla (1996) o DFM possui duas definições: i) em um sentido mais amplo, é qualquer processo, método ou sistema que proporcione o desenvolvimento de um produto mais fácil de ser fabricado e com menor custo de fabricação; ii) em um sentido mais específico, é uma técnica composta por regras, métodos, princípios e recomendações que possibilitam o desenvolvimento de um produto mais fácil de ser fabricado.

Bralla (1996) aponta que o Projeto para Montagem (*Design for Assembly* – DFA), conceituado anteriormente, e o Projeto para Manufatura e Montagem (*Design for Manufacturability and Assembly* – DFMA) utilizado por Boothroyd-Dewhurst para Projeto para Manufatura (*Design for Manufacturability* – DFM) definem o mesmo conceito e princípios. Entretanto, a definição de Boothroyd-Dewhurst distingue claramente DFM e DFA e por esse motivo está sendo adotada nesta dissertação a terminologia de DFMA, separando DFA de DFM, a mesma terminologia adotada por Boothroyd (1994).

2.3.3 Recomendações e aplicação de DFMA

DFM envolve muitos processos e aplicações, então, em alguns casos, as recomendações e regras para o desenvolvimento de um produto podem se tornar contraditórias. Por exemplo, um dos princípios que devem ser levados em consideração é eliminar ajustes posteriores sempre que possível. Essa recomendação pode conflitar por exemplo com uma regra de ouro que é a de utilizar tolerâncias dimensionais liberais sempre que possível. O que irá determinar qual regra deverá ser levada em consideração é o custo. Entretanto, para avaliar o custo de cada decisão para cada tipo de empresa, essas decisões poderiam levar mais tempo que o esperado, pois essa decisão é interdisciplinar e acaba expandindo para outros setores da empresa. Dessa forma, algumas empresas desenvolveram métodos para os projetistas tomarem essas decisões sobre o projeto. Bralla (1996) cita alguns exemplos dessas empresas:

1. O Método de Avaliação da Montabilidade (*Assembleability Evaluation Method* - AEM) desenvolvido pela empresa Hitachi e utilizado nos Estados Unidos pela empresa General Electric.
2. O método Boothroyd-Dewhurst de DFA. A empresa Boothroyd-Dewhurst também desenvolveu vários programas de computador para facilitar a avaliação de custos.
3. O Sistema "Nível 5" (Level 5) da *General Electric*, que é uma biblioteca de regras de projetos específicos para produtos eletrodomésticos e regras de aplicação geral para processos de fabricação.
4. O sistema da Poli-Universidade de Massachusetts para projeto de montagem.
5. Vista de Montagem (*Assembly View*), que é um sistema que utiliza computadores Macintosh.

Essas metodologias definem uma hierarquia dos princípios e regras, facilitando as decisões durante o desenvolvimento do projeto. A grande vantagem é a de tornar as decisões mais objetivas, com critérios bem estabelecidos (BRALLA, 1996).

As metodologias de DFM são abordagens que auxiliam o projetista na hora de desenvolver um produto, entretanto, existem muitas diretrizes e isso pode acabar confundindo-o. Manter os grandes princípios e regras em mente na hora de projetar garante uma melhor utilização dos conceitos (BRALLA, 1996).

Muitos projetistas na hora da concepção do produto, não levam em consideração todo o seu ciclo de vida. Muitas decisões tomadas na hora da concepção priorizam o objetivo de reduzir custos do produto de apenas uma parte do ciclo de vida, como por

exemplo levando em consideração apenas a execução ou fabricação. O ideal é levar em consideração os custos referentes a todo o ciclo de vida do produto: fabricação, execução, operação, manutenção, descarte, etc. (BRALLA, 1996).

Bralla (1996) defende a necessidade de levar em consideração o custo total do produto para tomar as decisões de projeto além de cumprir certos objetivos para possuir uma qualidade desejável. O autor recomenda alguns princípios que devem ser buscados para que o produto possua verdadeira qualidade, o produto deve possuir as seguintes características:

- 1) Função e performance: o produto deve funcionar com precisão e consistência para o que é projetado;
- 2) Segurança: o produto deve garantir segurança a todos envolvidos no projeto, em sua fabricação, utilização, etc;
- 3) Qualidade, confiabilidade e durabilidade: o produto deve ser projetado para ser durável, confiável e possuir qualidade durante todo o seu ciclo de vida;
- 4) Manufaturabilidade: o produto deve possuir todos os objetivos do DFM;
- 5) Ser amigável com o meio ambiente: o produto deve ser projetado em acordo com a sustentabilidade ambiental;
- 6) Facilidade de manutenção: o produto deve possuir baixo custo de manutenção e possuir processos fáceis de reparação;
- 7) Usabilidade: o produto deve ser fácil de se usar, manusear, utilizar;
- 8) Boa aparência: o produto deve ser projetado para ser atraente;
- 9) Características adicionais: o produto deve possuir funções periféricas, como por exemplo conforto;
- 10) Pequeno tempo de desenvolvimento: o produto deve contemplar rapidez em sua produção, desenvolvimento e entrega.

Bralla (1996) apresenta os principais princípios que devem ser seguidos quando o projetista utiliza as abordagens de DFM:

- 1) Simplificar e facilitar a montagem: o projeto mais simples e funcional, com menor número de peças, com o arranjo de montagem mais simples, com menor número de peças, menor número de interligações e interdependências, e uso máximo de módulos é o projeto mais confiável, menos oneroso, com produto de mais fácil manutenção e reparo e com maior velocidade de fabricação.
- 2) Minimizar o número de partes: é essencial a procura pela redução de número de partes. Normalmente algumas partes com funções diferentes são transformadas em

apenas uma peça que acumula essas funções. Esse princípio é essencial para a obtenção dos benefícios proporcionados pela utilização de DFM.

3) Padronizar: a padronização deve ocorrer em qualquer nível do projeto, como por exemplo, partes, processos, desenhos, produtos completos, etc. A padronização cria oportunidades de reduzir a quantidade de tipos de equipamentos, processos e a variedade de tipos de peças.

4) Utilizar materiais processáveis: os materiais que são adaptáveis devem ser priorizados na hora da escolha.

5) Adaptar o projeto para os processos de fabricação: os melhores resultados para custos, funções e qualidade são encontrados quando o projetista leva em consideração a fabricação do produto na hora de sua concepção. As partes e os materiais devem ser escolhidos de acordo com os processos conhecidos, materiais fáceis de encontrar, equipamentos existentes, etc.

6) Adaptar o projeto para o sistema de fabricação: os sistemas de fabricação atuam diretamente no conceito do projeto. O ideal é que o produto seja desenvolvido para um sistema de produção específico.

7) Cada parte deve ser fácil de ser fabricada: o processo de fabricação das peças deve ser pensado na hora de projetar. Não adianta facilitar a montagem e prejudicar a fabricação.

8) Projetar para uma quantidade de produção esperada: os projetistas devem levar em consideração a quantidade de produção que o produto demanda. Os processos de produção e o projeto devem ser alterados de acordo com o volume de produção.

9) Maximizar a conformidade: trata-se de medidas que devem ser pensadas pelos projetistas para facilitar o encaixe entre as partes do produto.

10) Reduzir ajustes: os ajustes são frequentemente necessários durante a montagem de um produto, entretanto, a redução dos ajustes pode ocorrer por intermédio da previsão de soluções adaptáveis no projeto.

11) Evitar processos de usinagem: são processos mais lentos que a moldagem por injeção por exemplo, e exigem outros processos para acabamento, maiores despesas, etc.

12) Gerenciar o projeto corretamente: embora seja possível conceber um projeto bom com apenas um projetista experiente, o ideal é que a concepção do produto seja elaborada por uma equipe multidisciplinar ao invés de apenas um indivíduo. Um

projetista não consegue abranger todas as informações necessárias como fabricação, qualidade, confiabilidade, necessidades dos clientes, etc.

13) Avaliar alternativas de projeto: é imprescindível que os projetistas possuam ferramentas para comparar diferentes alternativas de projeto, seja através do custo ou da eficiência do projeto.

Edwards (2002) realizou uma revisão bibliográfica sistemática com o objetivo de listar recomendações, orientações e diretrizes para utilizar o método Boothroyd-Dewhurst de DFMA no desenvolvimento de um projeto. Segue abaixo o resultado dessa pesquisa: uma lista com 90 orientações para as etapas de utilização de DFA e DFM durante o desenvolvimento de projetos (EDWARDS, 2002; p. 654-656, tradução nossa).

Etapas de montagem – DFA:

- Componentes padronizados devem ser incorporados.
- Materiais e métodos de fabricação devem ser o mais barato possível.
- Processos manuais devem ser reduzidos ao mínimo possível.
- A capacidade de troca das partes deve ser disponível.
- O projeto deve ser planejado para a produção/execução.
- Fazer partes simétricas.
- Projetar uma base para reduzir a necessidade de gabaritos e fixadores.
- Projetar um produto de fácil encaixe de partes, a fim de alcançar uma montagem mais simples.
- Produtos que são feitos para montagem automática são fáceis de montar manualmente.
- Minimizar tolerância e acabamento superficial. Dessa maneira, os custos de produção são reduzidos.
- Manter somente o número mínimo de partes.
- Simplificar o manuseio das partes.
- Não especificar tolerâncias mais rígidas do que o essencial para o correto funcionamento.
- Não especificar materiais que exijam compras especiais, a menos que não haja alternativa.
- Não considerar o uso de quantidades somente pela ordem econômica.
- Não considerar o uso de estoque de itens quando você só precisa de uma pequena quantidade de componentes.
- Visar simplicidade e economia de construção, incluindo componentes intercambiáveis.
- Projetar para o processo de produção mais adequado tendo a montagem econômica como meta.
- Projetar para uma montagem simples.
- Projetar partes que sirvam para mais de uma função.
- Eliminar a alta precisão e se adaptar sempre que possível.
- Uma redução no número de partes em um produto deve ser o primeiro objetivo de um projetista que deseja reduzir os custos de montagem.
- A forma mais óbvia em que o processo de montagem pode ser facilitado na fase de projeto é reduzir o número de componentes diferentes para um mínimo.
- A introdução da automatização pode resultar em um produto mais barato, mas este pode se tornar um produto caro para ser reparado.
- Cantos afiados devem ser removidos das partes no momento em que são guiados para a sua posição correta durante a montagem.
- Além da simplificação do produto, grandes melhorias frequentemente podem ser feitas através da introdução de guias e atarraxamentos que facilitem diretamente a montagem.

- Na montagem automática, é sempre necessário ter uma parte base em que o conjunto possa ser construído.
- Fazer partes simétricas.
- Evitar recursos de componentes que induzam ao assentamento ou ao emaranhamento.
- Deve-se salientar que os componentes que são fáceis de manusear automaticamente também serão fáceis de lidar manualmente.
- Atentar para fazer componentes simétricos, evitando a necessidade de orientações extras.
- Se a simetria não pode ser alcançada, exagerar assimetricamente as características para facilitar a orientação.
- Evitar operações de fixação caras e demoradas.
- Minimizar o número de componentes.
- Minimizar as etapas de produção.
- Para atingir um alto nível de confiabilidade o projetista deve considerar o uso de componentes e materiais bem experimentados e testados, ao invés de novos e incertos.
- Padronizar e reduzir o número de materiais e partes.
- Evitar requisitos desnecessários para a precisão da fabricação.
- Tamanhos e partes padrões devem ser usados sempre que possível.
- Introduzir sistemas de banco de dados sempre que for necessário um alto grau de precisão na localização de componentes intercambiáveis.
- Será que uma chave inglesa caberá em todos os parafusos de fixação e porcas?
- Seguir *layouts* simétricos.
- Projetos devem ser feitos para facilitar a embalagem.
- Use componentes, processos e procedimentos padrões sempre que possível.
- Usar partes compradas sempre que possível.
- Evite arestas e ângulos.
- Certifique-se que a desmontagem é igualmente possível como a montagem.

Etapas de manufatura – DFM:

- O projetista deve estar ciente das capacidades dos montadores, subempreiteiros e materiais dos fornecedores.
- Projetar peças fundidas de forma a minimizar o custo de remoção de imperfeições de soldagem.
- Fornecer somente o material suficiente em qualquer ponto que se faça necessária a usinagem para permitir o uso dentro dos limites especificados.
- Evitar o uso de recortes sempre que possível.
- Selecionar o melhor material para atender a cada operação de processamento.
- Evitar processos lentos e projetar processos contínuos de alta velocidade.
- Eliminar operações caras que não são realmente imprescindíveis para a função necessária e simplificar detalhes do projeto.
- Eliminar a necessidade de usinagem de componentes caros para tolerâncias excessivamente restritas.
- Escolher materiais para adequabilidade, bem como para o menor custo e disponibilidade.
- Assegurar simplicidade máxima de maneira geral.
- Usar as mais amplas tolerâncias possíveis e minimizar os acabamentos.
- O projetista deve fazer todos os esforços para especificar a menor quantidade de material que irá satisfazer as necessidades.
- A melhor maneira de alcançar a verdadeira confiabilidade é a simplicidade.
- Projetar para ajustar os processos de fabricação e reduzir despesas.
- Escolher materiais para uma combinação de propriedades.
- Projetar peças fundidas combinando partes, conforme seja possível; e ainda evitar a complexidade indevida e custos excessivos.
- Verificar se todas as secções e espessuras são uniformes.
- Filetes devem ser usados, sempre que possível, para evitar cantos afiados, mas não podem ser tão grandes a ponto de produzir pesados cortes transversais.
- Não é desejável projetar estruturas com abruptas alterações na secção.
- Procurar fazer peças fundidas simples tanto quanto for possível.

- Empregar nervuras para ajudar a evitar deformações, para aumentar a rigidez e para reduzir o peso.
- Raios interiores de curvas não devem ser menores do que a espessura do metal.
- Profundidades devem ser mantidas tão pequenas quanto permitido, para que o custo seja minimizado.
- O estoque projetado deve ser o menor possível.
- Se uma parte fica à vista, certifique-se que sua aparência é agradável e que o processo para tornar isso possível seja viável.
- Evitar furos quadrados quando um buraco feito com uma broca padrão poderia cumprir os requisitos.
- A menos que a remoção de rebarbas seja necessária, não estipular isso em projeto.
- Projetar as partes de uma maneira que o número e a duração dos processos de usinagem sejam minimizados.
- Escolher materiais que, de acordo com um custo mínimo e com outros requisitos, sejam mais facilmente manuseados com o maquinário.
- Projetar partes de modo que o estoque esteja prontamente disponível quando iniciar a produção e que possa ser usado quando estiver em largo uso.
- Projetar as partes para que elas possam ser usinadas com o menor número de ferramentas e com ferramentas padrão, a menos que não seja possível.
- Desenvolver o projeto para conter tantas partes idênticas quanto possível.
- Se você não puder eliminar elementos de fixação, padronize-os.
- O projetista irá quase sempre ser capaz de reduzir o número de componentes através da combinação de duas ou mais funções em uma única parte.
- Certificar que as mudanças de secção são graduais.
- Permitir o efeito de tensões térmicas.
- Cotar a espessura da parede, secções transversais e mudanças graduais de secção.
- Evitar excessivamente pequenas tolerâncias.
- Usar padrões e códigos, sempre que possível.
- Por razões econômicas, tentar sempre cumprir várias funções com uma única parte.
- Colocar um preço sobre cada tolerância e acabamento.
- Processos de fabricação favorecem objetos com planos perpendiculares entre si e aqueles que podem ser transformados em um torno.
- Selecionar materiais de produção de baixo custo e que atendam os requisitos do projeto. (EDWARDS, 2002; p. 654-656).

2.3.4 Benefícios da utilização de DFMA

Durante a etapa de concepção do projeto a informação é escassa e abstrata em relação à fabricação e a montagem. A quantidade de informação vai aumentando com o desenvolvimento do projeto e ao atingir a etapa de detalhamento, a informação está consolidada e os detalhes sobre a fabricação e montagem são predominantes (EDWARDS, 2002).

O DFMA possibilita uma análise sistemática de projetos. Esse procedimento de análise gera produtos mais confiáveis e mais simples, melhorando a fabricação e montagem. Além disso, o DFMA visa a redução do número de partes de um projeto, o que acarreta em uma melhora geral do desenvolvimento do produto (BOOTHROYD, 1994).

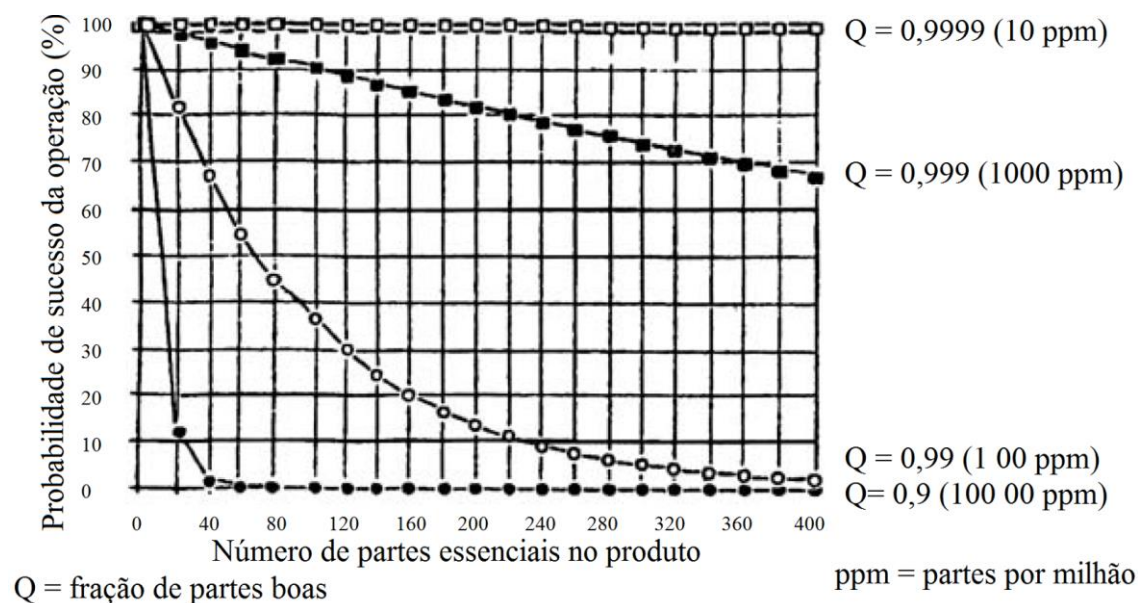
Bayoumi (2000) aponta que produtos que não são concebidos com DFMA podem possuir os seguintes problemas: i) levam mais tempo na hora da produção ou montagem, pois não são projetados com essa visão, sendo necessários processos adicionais de ajuste; ii) requerem equipamentos especializados e não programados, o que resulta em custos adicionais e atrasos; iii) exigem mais retrabalhos durante a produção e montagem pois demandam mais trabalhos manuais e não programados durante a montagem; iv) possuem má qualidade por possuírem peças de diferentes fornecedores, requererem montagem manual e por não tirarem proveito do ambiente industrial e controles de qualidade; v) retrabalhos e problemas com a qualidade afetam o custo final do produto, principalmente se os produtos forem entregues ao cliente com os defeitos. Os principais benefícios apontados por Bayoumi (2000) para a utilização de DFMA no desenvolvimento de projetos são: a redução no custo através de uma produção mais fluída por existirem menos quantidade e tipos de peças; qualidade superior, pois a verificação e o controle são mais eficazes quando há a padronização de peças e entrega do produto no tempo necessário, pois não há retrabalhos manuais e trabalhos especializados durante a montagem.

Uma das principais razões para a utilização de DFM resultar em um produto com maior qualidade e mais confiabilidade é a redução de partes do produto. Essa afirmação é resultado da interpretação do diagrama de fiabilidade apresentado por Bralla (1996), representado na figura 2.17.

O diagrama mostra que a quantidade total de partes representa um decréscimo de probabilidade que o projeto terá de sucesso. Outra informação importante é a relação de “partes boas” e “partes ruins”. Essa segunda representa as partes que possuem defeitos e problemas (BRALLA, 1996).

Quando acontece a redução do número de partes, várias funções são acumuladas em uma parte. Isso reduz o risco e aumenta a confiabilidade do produto, pois agora há que controlar apenas uma parte, quando antes haveria a necessidade de garantir qualidade em várias partes separadas. Entretanto, reduzir a quantidade de partes do produto não garante que automaticamente irá melhorar a qualidade e a confiabilidade do produto. Isso irá facilitar o controle sobre as partes e reduzir a quantidade de informação do projeto (BRALLA, 1996).

Figura 2.17. Diagrama de fiabilidade.



Fonte: Adaptado de Bralla, 1996.

O benefício automático gerado pela diminuição da quantidade de partes é a diminuição da quantidade de informação do projeto.

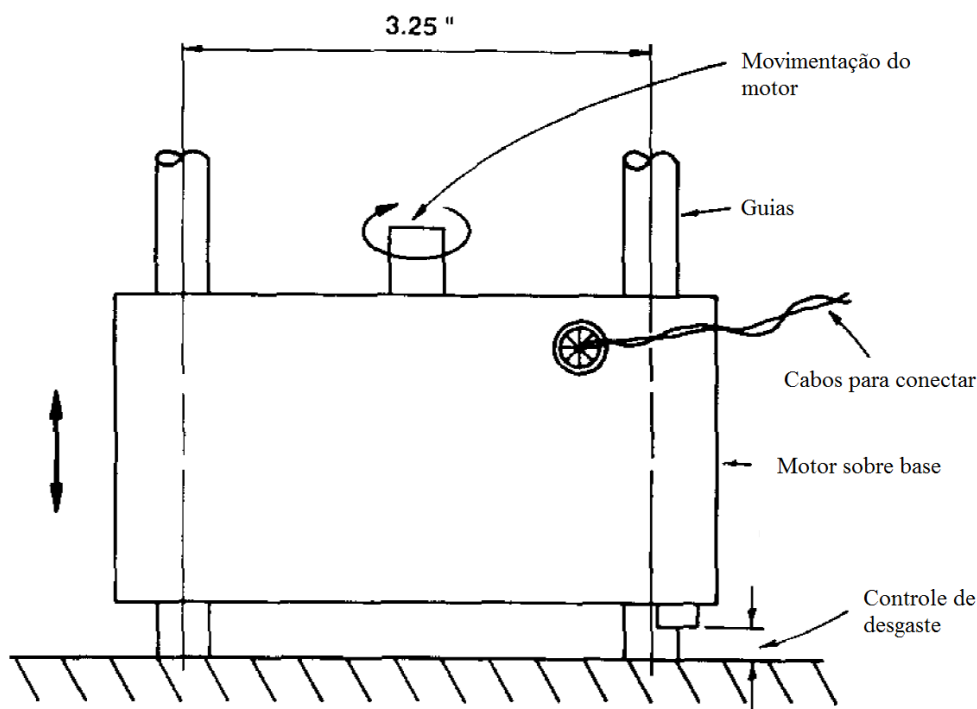
2.3.5 Casos de sucesso no uso de DFMA

O primeiro estudo de caso apresentado é de Boothroyd (1994) exemplificando a utilização da metodologia Boothroyd-Dewhurst DFMA no desenvolvimento de um motor. Esta metodologia indica três questionamentos que devem ser levados em conta para analisar cada parte do projeto. Essas perguntas, que aparecem a seguir, têm o objetivo de auxiliar o projetista nas decisões que podem reduzir a quantidade de partes de um projeto: durante o funcionamento, a parte em questão deve se mover em relação às outras partes? (Pequenos movimentos suportados por elementos elásticos não devem ser respondidos positivamente); a parte pode possuir o mesmo material que as outras partes? (Somente um motivo relacionado a propriedade dos materiais pode embasar uma resposta positiva); a parte deve ser fabricada separada por questões relativas ao processo de montagem?

Primeiramente, foi analisada a demanda necessária: o motor precisava ser totalmente fechado por questões estéticas, possuir tampa removível para facilitar a manutenção e montagem, base rígida e possuir cabos para conectar a uma fonte de alimentação e uma unidade de controle. A concepção do motor segue apresentada na figura 2.18.

Após a fase da concepção, o projeto inicial pôde ser realizado. Para atender as demandas, a solução proposta foi a utilização de uma base com pés com alto atrito e controle de desgaste. O motor foi fixado à base com dois parafusos, sendo que uma tampa em forma de caixa deslizava sobre o motor, sendo esta fixada através de quatro parafusos. O projeto inicial é apresentado na figura 2.19.

Figura 2.18. Concepção do motor.

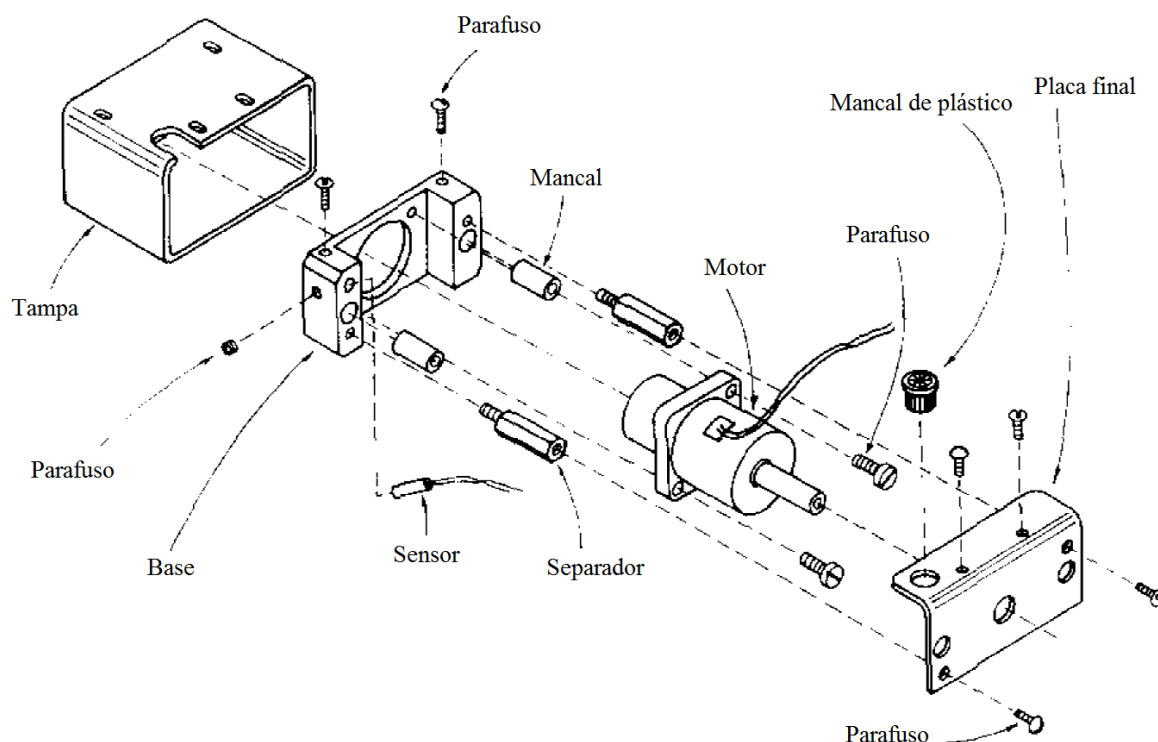


Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Utilizando o método DFMA alguns apontamentos foram levantados:

- 1) A base é uma parte necessária já que outras partes são fixadas nela.
- 2) Os dois mancais são partes que poderiam teoricamente ser adicionadas à base.
- 3) O motor e o sensor são um subconjunto de peças comprados. O desenvolvimento de seus projetos não será analisado neste estudo.
- 4) É necessário eliminar os fixadores de base, pois teoricamente sempre é possível integrar os fixadores.
- 5) O parafuso de ajuste não é necessário.
- 6) Os parafusos de ajuste não são necessários pois podem ser incorporados na base.
- 7) A placa final deve ser separada por razões de montagem.
- 8) Os dois parafusos da placa final não são necessários.

Figura 2.19. Projeto original do motor.



Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

- 9) O mancal de plástico pode ser do mesmo material que a placa final.
- 10) A tampa pode ser combinada com a placa final.
- 11) Os quatro parafusos da tampa não são necessários.
- 12) Após essas análises foi proposto um novo projeto através dos princípios de DFMA.

Depois de levantadas essas informações, foi realizado um estudo de DFA para entender a viabilidade dessas alterações. Este estudo é uma estimativa baseada em tempos padrão de montagem. O estudo também define quais são as partes necessárias, que teoricamente somam a quantidade mínima possível de partes. Na tabela 2.7, exposta a seguir, consta o estudo realizado para este motor.

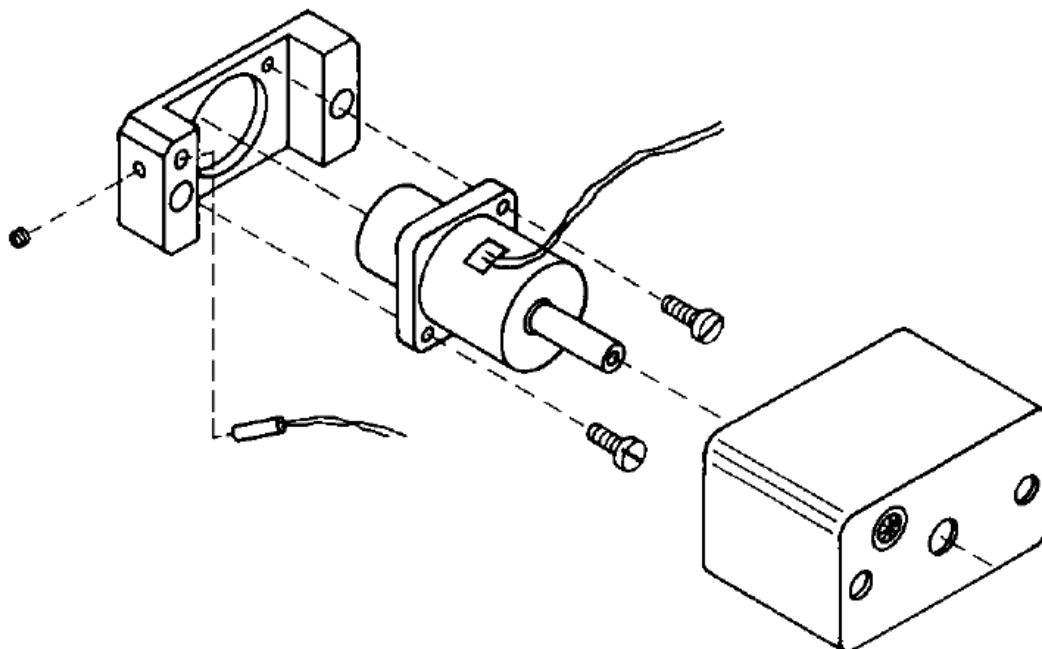
Com base na análise de que um produto ideal possuiria apenas 4 partes, resultando em um tempo de montagem de 12 segundos (4×3), demonstra-se que o tempo de montagem do produto atual é de 160 segundos, ou seja, uma eficiência de projeto de 7,5%. Então, pode-se constatar que o estudo por um novo projeto se faz necessário e que o projeto atual precisa ainda de muitas melhorias. Dessa forma os projetistas desenvolveram um novo projeto que segue apresentado na figura 2.20.

Tabela 2.7. Estudo DFA sobre o projeto inicial do motor.

Item	Quantidade e de partes	Quantidade teórica mínima de partes	Tempo de montagem (s)	Custo da montagem (\$)
Base	1	1	3,50	2,90
Mancal	2	0	12,30	10,20
Submontagem do motor	1	1	9,50	7,90
Parafuso do motor	2	0	21,00	17,50
Submontagem do sensor	1	1	8,50	7,10
Parafuso de fixação	1	0	10,60	8,80
Separador	2	0	16,00	13,30
Placa final	1	1	8,40	7,00
Parafuso da placa final	2	0	16,60	13,80
Mancal de plástico	1	0	3,50	2,90
Aparafusamento	-	-	5,00	4,20
Reorientação	-	-	4,50	3,80
Tampa	1	0	9,40	7,90
Parafuso da tampa	4	0	31,20	26,00
Totais	19	4	160,00	133,00

Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Figura 2.20. Novo projeto proposto do motor (Adaptado de BOOTHROYD, 1994).



Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Os mancais foram integrados com a base e os espaçadores. A placa final, a tampa, o mancal de plástico e seis parafusos foram combinados em apenas uma parte de plástico. A partir desse projeto produziu-se mais uma análise DFA que segue demonstrada na tabela 2.8.

Tabela 2.8. Estudo DFA sobre o novo projeto proposto do motor.

Item	Quantidade de partes	Quantidade teórica mínima de partes	Tempo de montagem (s)	Custo da montagem (\$)
Base	1	1	3,50	2,90
Submontagem do motor	1	1	4,50	3,80
Parafuso do motor	2	0	12,00	10,00
Submontagem do sensor	1	1	8,50	7,10
Parafuso de fixação	1	0	8,50	7,10
Aparafusamento	-	-	5,00	4,20
Tampa de plástico	1	1	4,00	3,30
Totais	7	4	46,00	38,40

Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Esse novo projeto possui um tempo de montagem de 46 segundos, eficiência de projeto de 26% e se constitui por um total de 7 partes. Constatou-se uma grande melhoria no projeto. Após concluir que todas as alterações possíveis, e de acordo com a metodologia DFA, já haviam sido tomadas para melhorar o projeto, optou-se por realizar um estudo DFM sobre os custos do projeto. Este estudo segue demonstrado na tabela 2.9.

Tabela 2.9. Comparação entre o projeto original e o novo projeto do motor.

Proposta original		Novo projeto	
Item	Custo da montagem (\$)	Item	Custo da montagem (\$)
Base de alumínio	12,91	Base de nylon	13,43
Mancais (2)	2,40	Parafusos do motor (2)	0,20
Parafusos do motor (2)	0,20	Parafuso de fixação	0,10
Parafuso de fixação	0,10	Tampa de plástico	8,00
Separador	5,19	Total	21,73
Placa final	5,89		
Parafuso da placa final	0,20		
Mancal de plástico	0,10		
Tampa	8,05		
Parafuso da tampa	0,40		
Total	35,44		

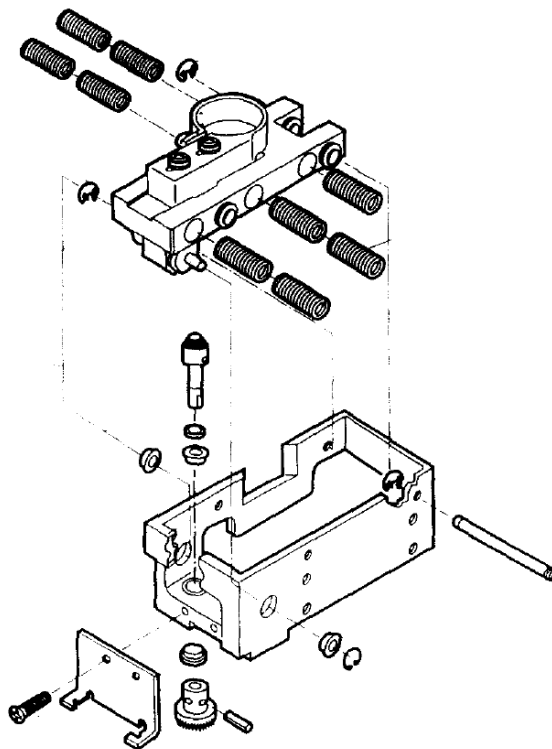
Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Houve uma redução de custos de \$13,71 (38,7%), entretanto, o novo modelo exige um investimento de \$5.000,00 para a compra de novas ferramentas. Ou seja, após a produção de 365 motores, o retorno do investimento será alcançado. Essa decisão de investimento deve ser tomada por outras pessoas envolvidas no projeto e, por esse motivo, o projeto poderia ser redesenhado.

Outro caso de sucesso histórico é a utilização do método de DFMA para um retículo de mira térmica fornecido pelo Sistema de Defesa e Eletrônicos do grupo *Texas Instruments* (WELTER, 1989² *apud* BOOTHROYD, 1994).

O projeto original segue apresentado na figura 2.21. Após o estudo de DFA sobre o projeto original, constatou-se que a fabricação demorava 12 horas para ser realizada, sendo que a montagem levava em torno de 2 horas. Constatou-se também que os principais responsáveis pelo tempo de fabricação e montagem eram as operações especiais de perfuração, a utilização de fixadores e as orientações e disposições para a montagem correta das partes.

Figura 2.21. Projeto original do retículo da mira térmica.

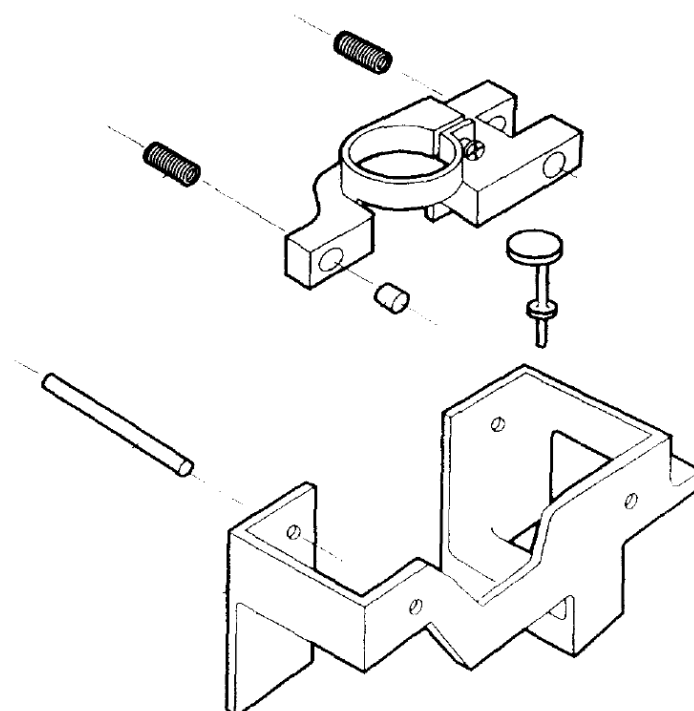


Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

² WELTER, T. R. Designing for manufacture and assembly. **Industry Week**. Set. 1989.

O projeto final segue apresentado na figura 2.22. Pode-se constatar que o projeto sofreu grande alteração. Essas alterações tiveram o intuito de reduzir o número de partes e substituir alguns processos de montagem e de fabricação. Algumas peças foram combinadas ou substituídas, tendo-se optado por outros processos de fabricação como a fundição de alumínio no novo projeto. Além disso, foram eliminados quase todos os fixadores.

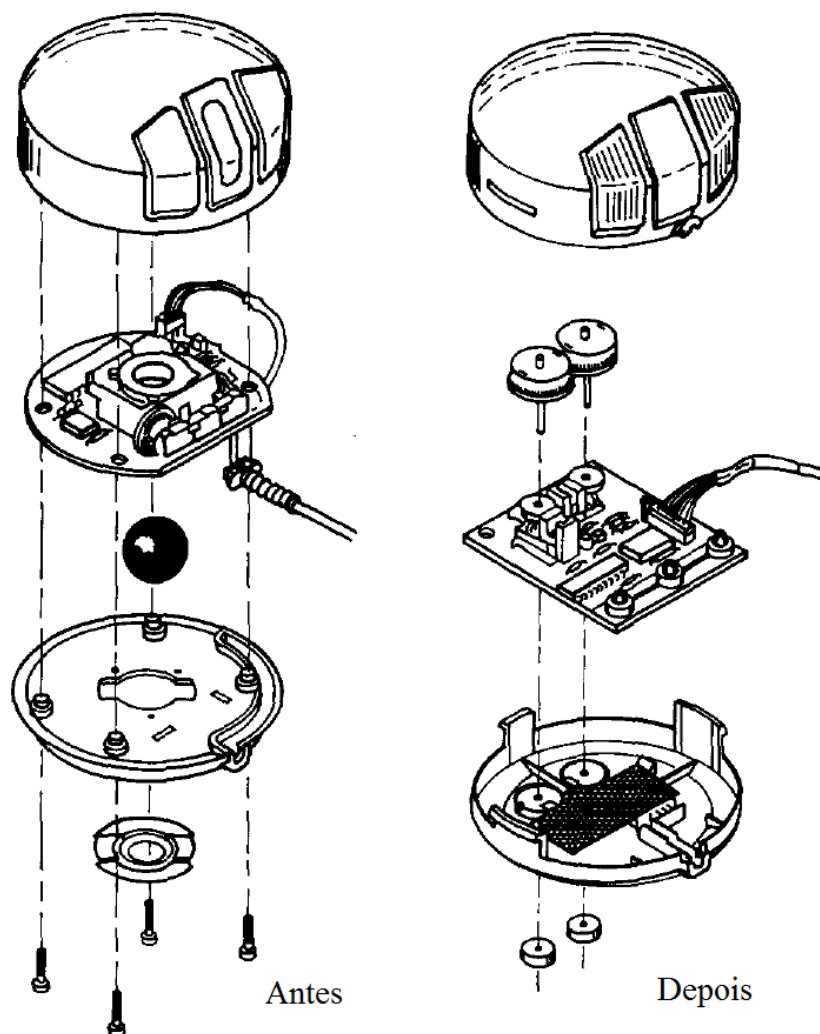
Figura 2.22. Novo projeto proposto para o retículo da mira térmica.



Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Outro caso de estudo é o da empresa *Digital Equipment*, que conseguiu reduzir a quantidade de processos de montagem em 34,94% (83 para 54 processos) e diminuiu o tempo de montagem de 592 segundos para 277 segundos. O produto era um mouse, cujos projetos propostos, original e novo, seguem apresentados na figura 2.23. Várias alterações foram propostas como retirar a utilização de parafusos de fixação, retirada do sistema de esfera para captação da movimentação do mouse, alteração do sentido de algumas partes e algumas junções de partes.

Figura 2.23. Do lado esquerdo o projeto original do Mouse e do lado direito o novo projeto proposto.



Fonte: Adaptado de Boothroyd, 1994

Boothroyd (1994) também realizou um levantamento sistemático de 43 publicações sobre a utilização do método Boothroyd-Dewhurst de DFMA em estudos de casos e comparou os resultados. A média de partes reduzidas entre todos os estudos de casos foi de 51,4% do total de partes.

2.3.6 Partes da construção

O conceito de partes para as indústrias de manufatura, aeroespacial e automobilística é claro e definido, o conceito é internalizado por todos que desenvolvem projetos nessas indústrias.

Para Fischer et al. (2015), uma parte de um produto da ICC é qualquer entidade que requer uma ação de instalação para se tornar um componente final da construção.

Uma parte leva um ciclo de trabalho para ser instalada. Objetos temporários, consumíveis, ferramentas, equipamentos não podem ser considerados partes por não serem parte do produto final.

Figura 2.24. Exemplos de parte de construção.



Fonte: Adaptado de Fischer et al., 2015.

Partes líquidas (tintas, adesivo plástico, concreto, etc.) podem ser quantificadas por unidade de compra (pote, galão, m³, etc.) ou por um elemento completo instalado (uma laje concretada, uma conexão adesivada, uma parede pintada, etc.).

Fischer et al. (2015) afirmam que após quantificar e analisar claramente todas as partes de um produto da construção, como o tipo, complexidade e método de instalação, os profissionais da ICC poderiam avaliar melhor os projetos, definir melhor os métodos e estratégias de construção. Uma decisão precoce na hora de definir os tipos de partes e os métodos de instalação pode aumentar significativamente o número total de partes do projeto e consequentemente a quantidade de informação embutida no projeto.

A indústria aeroespacial sabe exatamente quantas partes os seus produtos possuem, um Boeing 747 e um Airbus A380, ambos possuem aproximadamente 6 milhões de partes. Com esse conhecimento a indústria aeroespacial consegue desenvolver

uma eficiente e justa cadeia de suprimentos e gerar instruções claras de fabricação e montagem (FISCHER et al., 2015).

O número de partes no local da execução pode reduzir quando o projeto utiliza a pré-fabricação, deslocando a construção das partes do local da montagem para a o local da fabricação, aumentando qualidade e segurança (FISCHER et al., 2015).

O estudo de Smith et al. (2015) objetivou o estudo de casos internacionais que utilizaram o conceito de Construção Modular Permanente (*Permanent Modular Construction* - PMC) para aumentar a industrialização e reduzir a quantidade de partes do projeto em produtos da ICC. Foram estudados 17 estudos de casos divididos em 6 países (Canadá, EUA, Austrália, Inglaterra e Espanha). As empresas participantes desenvolveram projetos iguais em diferentes lugares com soluções convencionais e soluções modulares, coletaram os dados e posteriormente esses dados foram analisados.

Um dos estudos de caso é um edifício residencial *The Stark* que foi executado em 2013 pela empresa Gluck+ em Nova Iorque.

Figura 2.25. Montagem do produto modular The Stark em Nova Iorque.



Fonte: Smith et al., 2015.

Outro estudo de caso analisado foi a construção de uma cafeteria Starbucks executada pela empresa Jackson Dean Construction. O projeto modular teve sua fabricação em 2 meses na fábrica e a execução ocorreu em 10 dias. Houve redução de 35% nos custos e foi 16% mais rápido tempo total de projeto.

Figura 2.26. Resultado final e fabricação Da Starbucks em Marysville.



Fonte: Smith et al., 2015.

Os tipos de edificações foram variados: 1 hospital, 6 casas, 4 edificações de educação, 2 comércios, 2 hotéis, 1 edificação de uso diverso e 1 escritório. O tamanho das edificações variou de 16 mil metros quadrados a 163 metros quadrados e a quantidade de pavimentos de 1 a 25.

Após comparar os resultados após a execução das obras, descobriu-se que em média o custo total dos projetos foi 16% menor nas soluções pré-fabricadas e modulares e que o tempo total do projeto foi reduzido em 39%. Outros benefícios foram apontados também como maior controle dos custos, maior qualidade do produto final, dentre outros.

2.3.7 Conclusões acerca do DFMA

A utilização de DFMA no desenvolvimento de um projeto pode gerar muitos benefícios, entre eles a redução de custos e a redução do tempo total do projeto. Mas o mais importante é que auxilia o desenvolvimento do projeto com um método, isso evita que os projetistas utilizem somente sua experiência própria.

Conclui-se que a facilidade de manufatura e de montagem devem sempre ser levadas em consideração na hora de melhorar um projeto, e que a redução de partes é o principal motivo para o sucesso da utilização de DFMA.

Na tabela 2.10 são apresentadas as publicações que foram utilizadas na elaboração deste capítulo.

Tabela 2.10. Publicações utilizadas para a revisão sistemática sobre DFMA.

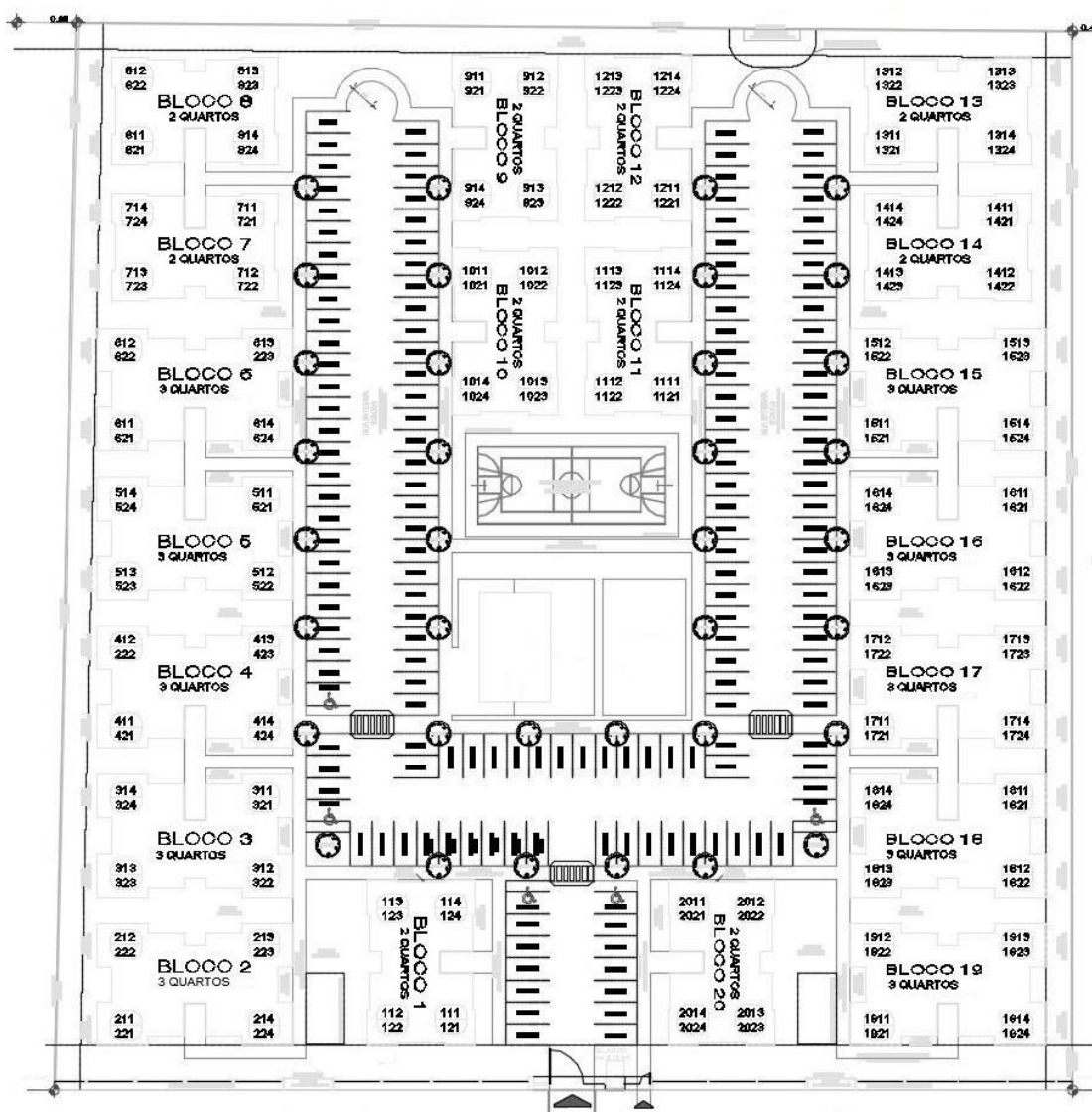
Autor, Ano	Tema da publicação
Bralla, 1996	Livro referência do tema com a história, conceito e princípios de DFM.
Boothroyd et al., 1968 apud Bralla, 1996	Bralla cita o livro <i>Mechanized Assemble</i> publicado por Redford e Boothroyd.
Bralla, 1999	Manual obrigatório sobre a prática de DFM no desenvolvimento de peças mecânicas.
Edwards, 2002	Artigo que conceitua DFMA e que possui uma lista com 90 recomendações a serem seguidas durante o desenvolvimento de um projeto.
Bayoumi, 2000	Artigo sobre os princípios, conceito e aplicações de DFMA.
Boothroyd, 1994	Artigo histórico sobre os conceitos de DFM e estudos de casos.
Welter, 1989 apud Boothroyd, 1994	Boothroyd cita a publicação de Welter a se referir a um estudo de caso.
Fischer et al., 2015	Projeto do <i>Center for Integrated Facility Engineering</i> (CIFE) sobre a utilização do conceito de partes para produtos da ICC.
Smith et al., 2015	Estudo sobre casos de implementação do conceito de Construção Modular Permanente e a utilização da industrialização em produtos da ICC.

3. PROJETOS, MODELAGEM E O ARTEFATO

A edificação utilizada para realizar o estudo de caso é um condomínio composto por 20 blocos, distribuídos em um terreno de 13.096,34 m². Dois projetos desse condomínio fazem parte do estudo de caso: projeto hidráulico e estrutural. Esses dois projetos foram elaborados pelo autor, como profissional, no ano de 2014.

A localização dos 20 blocos e a implantação do terreno estão representadas na figura 3.27 e no anexo 1.

Figura 3.27. Implantação mostrando o terreno e os blocos.



Cada bloco do condomínio é constituído por 2 pavimentos, 4 apartamentos por andar e cobertura com laje e telhado. O hall se localiza no térreo e contempla uma escada

para acessar o segundo pavimento. Esse tipo de empreendimento se enquadra perante a norma 12.271 (ABNT, 2006), como Residência Multifamiliar/Projeto de Interesse Social (PIS).

Dos 20 blocos que compõem o condomínio estudado, 10 blocos contemplam apartamentos de dois dormitórios – designados no presente estudo por 2Q - e 10 blocos contemplam apartamentos de três dormitórios - designados no presente estudo por 3Q. A área total de todas as edificações em conjunto é de 9.477,60 m².

A área total dos blocos 2Q é de 422,40 m², sendo que cada apartamento oferece uma área privativa de 47,28 m² e área total de 52,80 m². Esses blocos possuem apartamentos com dois dormitórios, um banheiro, uma sala e uma cozinha conjugada com a lavanderia.

Os blocos 3Q contemplam área total de 525,36 m² e cada apartamento do bloco oferece área privativa de 60,39 m² e área total de 65,67 m². Os apartamentos possuem três dormitórios, um banheiro, uma sala e uma cozinha conjugada com a lavanderia.

3.1 PROJETOS CONVENCIONAIS

Foram analisados e estudados os projetos convencionais de estrutura e hidráulica, do condomínio supracitado. Esses projetos foram elaborados pelo autor em 2014, como profissional. Foi realizado um recorte no projeto hidráulico convencional, analisar-se-á somente o sistema de água fria.

Os materiais utilizados nos projetos estão de acordo com os materiais referenciados pela norma NBR 12.271 (ABNT, 2006) para esse tipo de edificação, isso garante que os projetos convencionais do estudo de caso representam a grande maioria dos projetos brasileiros para esse tipo de edificação.

3.1.1 Projeto estrutural

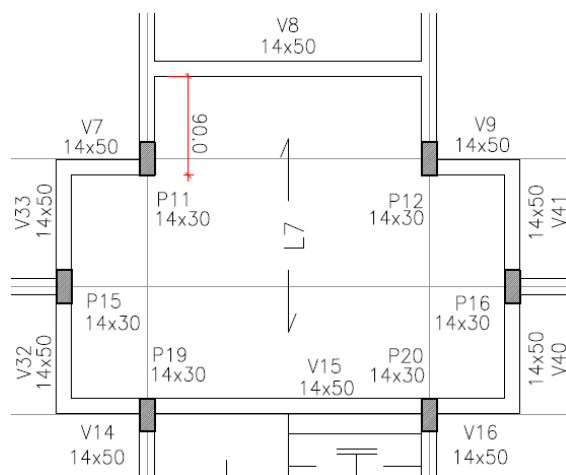
Para o projeto convencional estrutural foi adotada a solução de estrutura de concreto armado. O projeto estrutural foi realizado de acordo com a norma NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2014) e o cálculo estrutural foi realizado por intermédio do software Eberick, da empresa AltoQi. O detalhamento das pranchas foi realizado no programa AutoCAD da empresa Autodesk.

Para as fundações, foi considerada a solução de estacas profundas. Entretanto, as estacas não foram calculadas por não fazerem parte do projeto estrutural, e sim, do

projeto de fundações, que não será contemplado pelo presente estudo. O concreto utilizado foi o de 25 MPa; e para as armaduras foi adotado o aço CA-50 e CA-60.

O volume total de concreto calculado para cada bloco 2Q foi de 71,70 m³. A área total das formas de madeira necessárias para moldar a estrutura dos blocos 2Q foi calculada em 806,30 m². A quantidade total de aço das armaduras dos blocos 2Q foi calculada em 4.396,90 kg, considerando 10% de perdas.

Figura 3.28. Recorte da planta de formas do pavimento térreo do bloco 2Q.



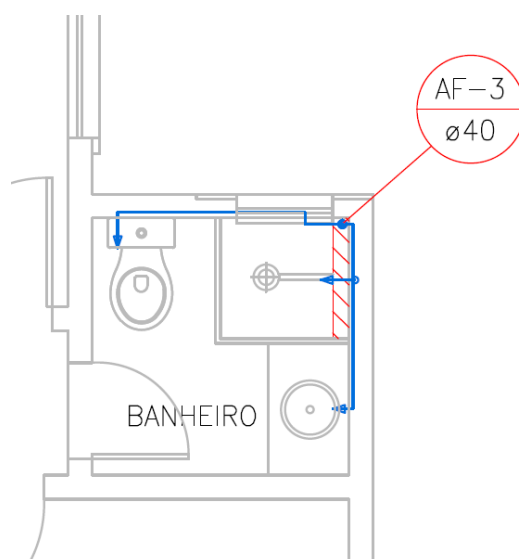
Nos blocos 3Q, o cálculo do volume total de concreto foi de 85,00 m³. A área total das formas de madeira necessárias para moldar a estrutura dos blocos foi calculada em 921,20 m². A quantidade total de aço das armaduras dos blocos 3Q foi calculada em 6.143,50 kg, considerando 10% de perdas.

O projeto convencional estrutural dos blocos 2Q e 3Q contém 46 pranchas de desenhos com detalhamento de forma e detalhamentos de armaduras. Para mais detalhes, consultar o apêndice 1.

3.1.2 Projeto hidráulico

Para o projeto convencional hidráulico foi adotada a solução de tubulação em PVC e caixas d'água de polietileno. O único sistema hidráulico utilizado neste estudo de caso foi o sistema de água fria. A norma utilizada para elaborar o projeto hidráulico foi a NBR 5626 (ABNT, 1998) e o *software* utilizado para calcular o diâmetro e as pressões das tubulações foi o Hydros, da empresa AltoQi.

Figura 3.29. Recorte da planta de água fria do bloco 3Q.



Para ambos os tipos de blocos, 2Q e 3Q, foram utilizadas duas caixas d'água com volume de 1.500,00 litros, cuja instalação foi prevista para ser realizada no pavimento da cobertura. Foi definido no projeto que essas caixas d'água devem ser abastecidas somente com a pressão fornecida da concessionária e que a alimentação da edificação deve ser realizada pelas caixas d'água em função da gravidade. Outra observação importante é que não há válvulas de descarga nas bacias sanitárias nos banheiros, todas as bacias sanitárias são com caixa acoplada.

O recorte do sistema de água fria do projeto hidráulico contém 7 pranchas de desenhos. Para mais detalhes, consultar o apêndice 2.

3.2 MODELAGEM BIM DOS PROJETOS CONVENCIONAIS

Após a análise dos projetos convencionais, foi realizada a modelagem do projeto estrutural e do projeto hidráulico da edificação. O *software* utilizado para a modelagem foi o Revit, da empresa Autodesk.

Para elaborar a modelagem do projeto estrutural convencional foram desenvolvidas as famílias de objetos (pilares, lajes, vigas e blocos) e os tipos de objetos dessas famílias (pilar de concreto armado 20 x 30 cm, viga de concreto armado 14 x 50 cm, etc.).

Figura 3.30. Imagem 3D, elevação e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional estrutural do bloco 2Q.

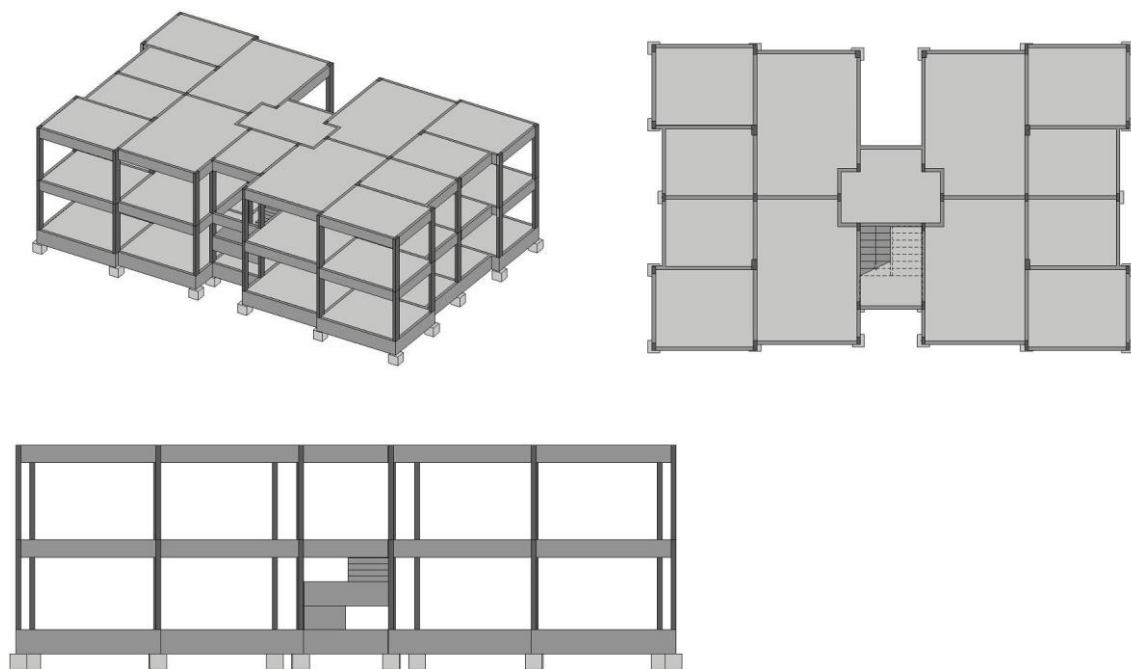
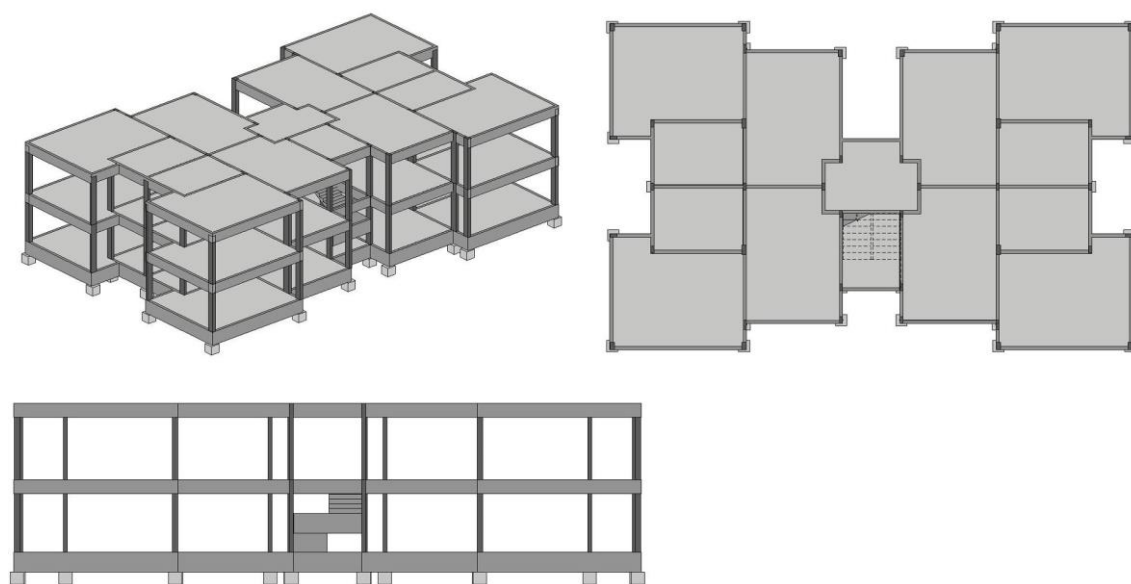


Figura 3.31. Imagem 3D, elevação e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional estrutural do bloco 3Q.



Ao longo da elaboração do modelo, constatou-se que as armaduras, os espaçadores de armaduras e os arames de amarração são elementos de difícil modelagem no *software* escolhido devido aos seguintes aspectos: mostrou-se inviável criar cada tipo de parte proposta no projeto convencional; e constatou-se conflito entre as partes por serem pequenas e coladas umas nas outras. Os aspectos apresentados inviabilizaram a

modelagem de tais elementos neste estudo. As formas e o escoramento também não foram modelados, pois não são considerados partes, por se tratarem de objetos temporários. Para mais detalhes, consultar o apêndice 3.

Para modelar o projeto hidráulico utilizou-se a biblioteca de elementos das seguintes marcas:

- i) tubos, conexões e caixa d'água da marca Tigre;
- ii) chuveiros, bacias sanitárias e registros da marca Docol;
- iii) tanque e lavatório da marca Celite;
- iv) máquina de lavar roupa e pia da cozinha são elementos genéricos, sem marca.

Os adesivos plásticos para PVC e a fita veda rosca não foram modeladas e suas quantidades serão estimadas através da composição analítica das conexões. A solução preparadora para tubulações e a quantidade gasta de lixa não foram adicionadas ao modelo por não serem consideradas partes, pois não fazem parte do produto final. Para mais detalhes, consultar o apêndice 4.

Os elementos pertinentes ao projeto arquitetônico não foram modelados no presente estudo (em coerência com o recorte anteriormente estabelecido), com exceção da vedação da estrutura, tendo em vista que levantou-se a hipótese de que este elemento seja muito significativo na quantidade total de partes de uma edificação.

A modelagem dos fechamentos foi realizada em alvenaria. Para essa modelagem, utilizou-se uma parede com bloco cerâmico de $\frac{1}{2}$ vez, ou seja, com o bloco cerâmico em pé (a face 9 x 19 cm para baixo). Os blocos apresentam dimensão de 9 x 14 x 19 cm. A espessura da parede ficou em 9 cm.

A figura 3.34 apresenta a modelagem dos blocos 2Q e 3Q com as paredes modeladas. Para mais detalhes, consultar o apêndice 5.

Figura 3.32. Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 2Q.

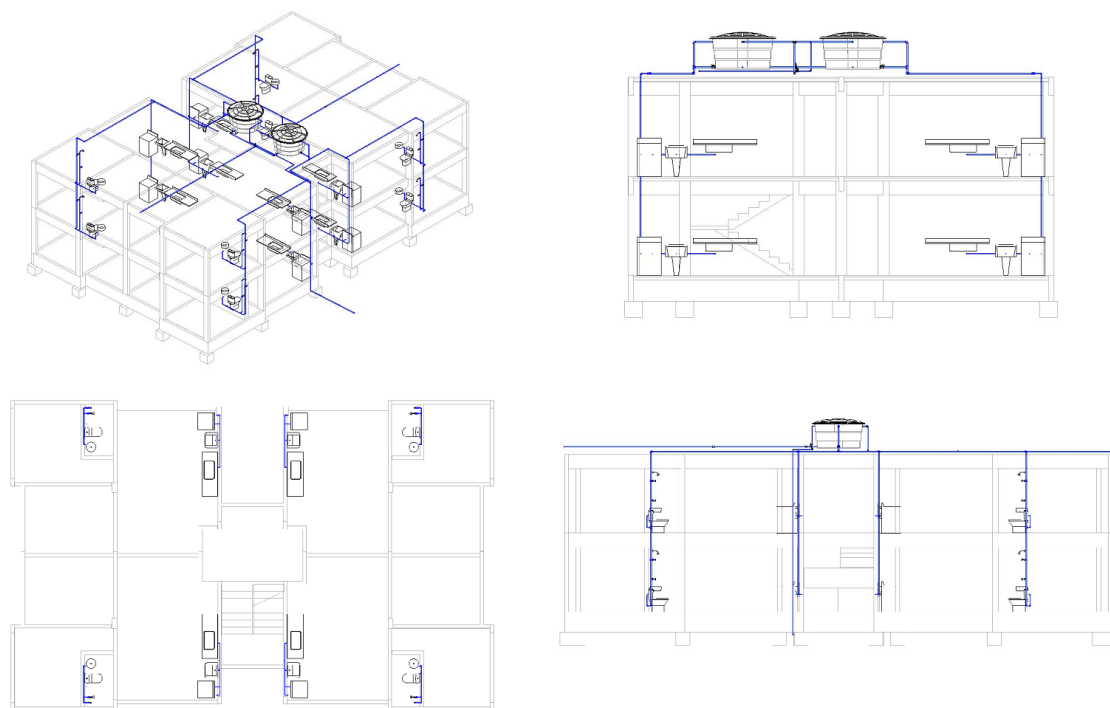


Figura 3.33. Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 3Q.

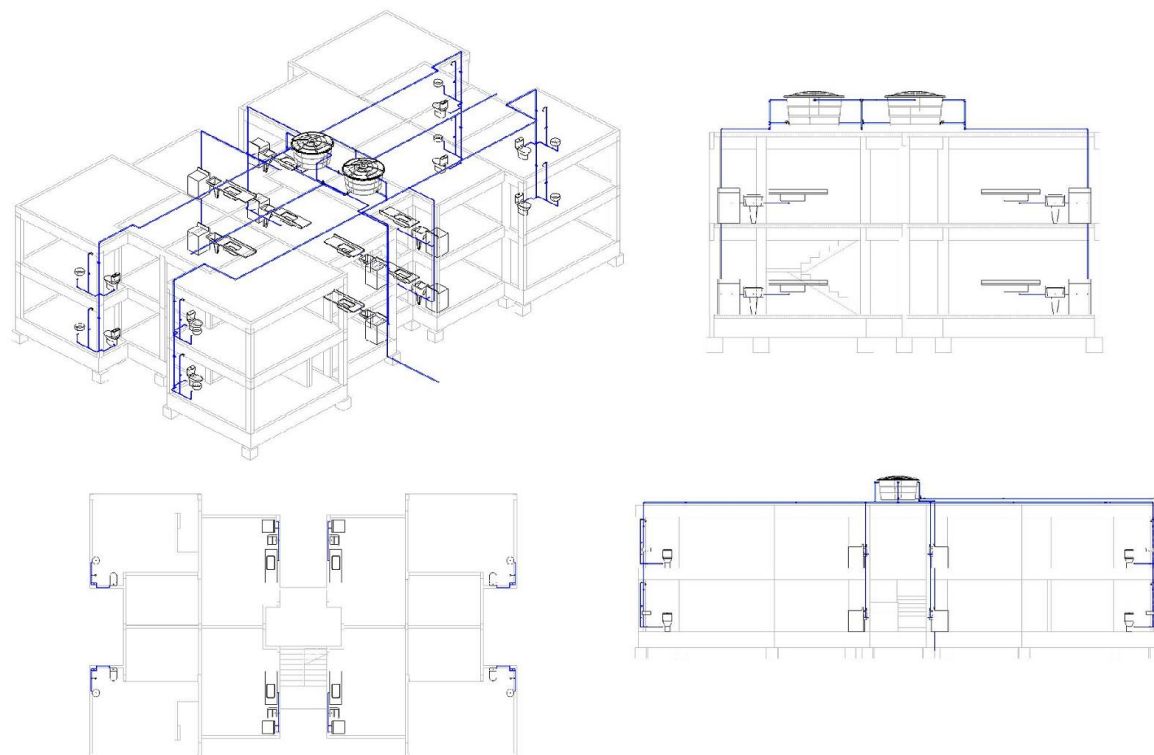
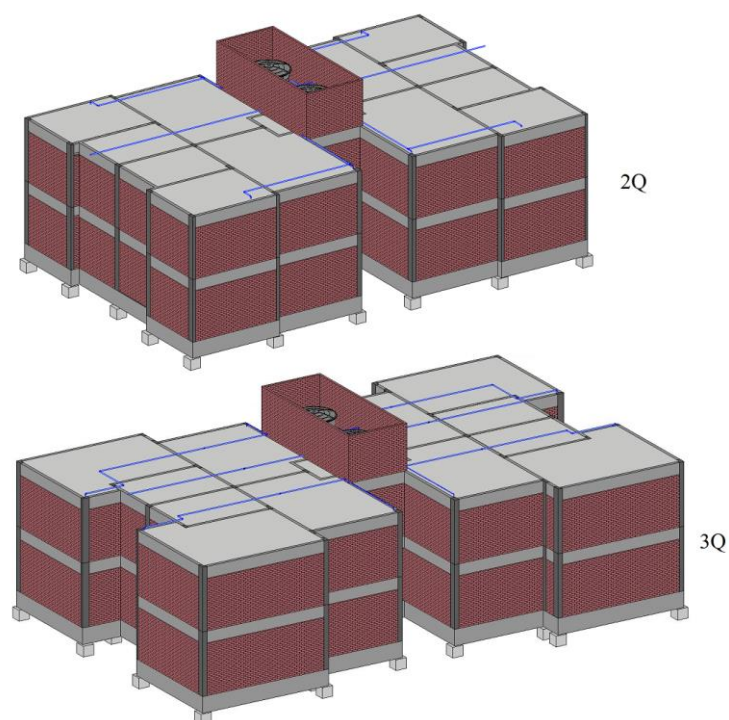


Figura 3.34. Blocos 2Q e 3Q com paredes de blocos cerâmicos.



Após finalizar a modelagem dos blocos 2Q e 3Q, modelou-se a implantação com o terreno. O modelo com todos os blocos adicionados foi realizado através de vínculos com os modelos dos blocos 2Q e 3Q. Para mais detalhes, consultar o apêndice 6.

Figura 3.35. Imagem 3D, elevação e implantação retirados automaticamente da modelagem dos projetos convencionais de hidráulica e estrutural de todos os blocos 2Q e 3Q.

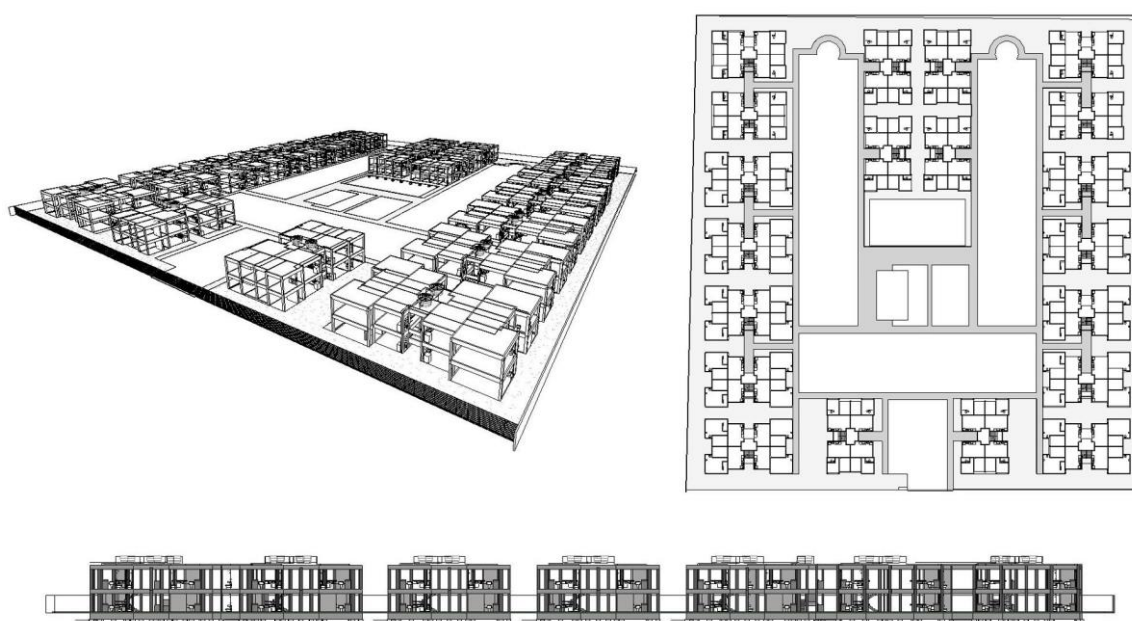
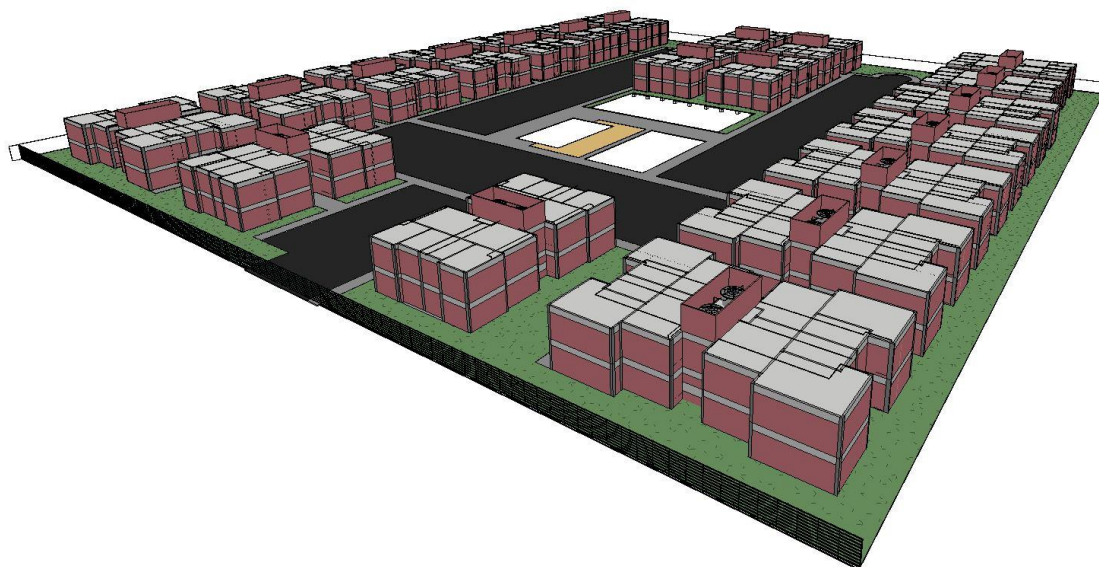


Figura 3.36. Imagem 3D da modelagem dos projetos convencionais de hidráulica e estrutural e paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de todos os blocos 2Q e 3Q.



Tendo sido analisados os projetos convencionais, bem como realizada a modelagem dos mesmos, no próximo subitem foi desenvolvido o projeto utilizando os princípios de DFMA, com o objetivo de propor novas soluções que reduzam a quantidade de partes total do projeto.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ATRAVÉS DE DFMA

Neste subitem os projetos convencionais foram desenvolvidos através da metodologia DFMA com o objetivo de melhorá-lo, tomando como principal medida de melhoramento do projeto a quantidade de partes da construção.

3.3.1 Recomendações e princípios de DFMA aplicado em um projeto da ICC

Após o desenvolvimento da modelagem dos projetos convencionais iniciou-se a etapa de desenvolvimento do projeto com base nas recomendações e metodologia estudadas no capítulo de referencial teórico-conceitual.

Todas as recomendações anteriormente estudadas foram levadas em consideração durante o desenvolvimento dos projetos, porém nem todas puderam ser utilizadas, pois algumas são específicas para projetos mecânicos como por exemplo:

- a menos que a remoção de rebarbas seja necessária, não estipular isso em projeto;

- projetar peças fundidas de forma a minimizar o custo de remoção de imperfeições de soldagem;
- cantos afiados devem ser removidos das partes no momento em que são guiados para a sua posição correta durante a montagem;
- projetar uma base para reduzir a necessidade de gabaritos e fixadores.

As recomendações da metodologia DFMA serviram para definição das soluções adotadas. Com uso do DFMA, o projetista possui melhor noção das suas escolhas e percebe mais facilmente que suas escolhas irão implicar em questões além dos custos e do tempo de execução. Para essa visão geral foram utilizados os princípios do DFMA expostos por Bralla (1996): função, desempenho (performance), segurança, qualidade, confiabilidade, durabilidade, manufaturabilidade, sustentabilidade, facilidade de manutenção, usabilidade, boa aparência, custo e tempo, dentre outros. Um projetista mais experiente e com sua própria metodologia pode possuir visão geral do projeto e levar em consideração todas essas características na hora de projetar, mas nem todos os projetistas são experientes e fazem esta análise.

Nos projetos desenvolvidos nesta pesquisa, a medida de análise foi a quantidade de partes da construção. Com esta quantidade pode-se entender melhor o projeto e pode-se até mesmo verificar e confirmar pontos positivos ou negativos nas definições. Não há como afirmar em questão numérica que o projeto ficou confiável, mais seguro, mais simples, com facilidade de manutenção, mas é possível analisar melhor o produto.

As indústrias da manufatura, aeroespacial e automobilísticas fazem estudos da quantidade de partes dos seus produtos e com essa informação eles conhecem melhor seus produtos, fazem análises mais reais antes mesmo do produto ser fabricado (FISCHER, 2015).

Após utilização das recomendações e princípios do DFMA em um produto da ICC, percebeu-se a necessidade de adaptar algumas recomendações e por esse motivo elaborou-se uma pequena lista de recomendações, para desenvolvimento de projetos, específicas para projetos da ICC. Essa lista foi elaborada durante o desenvolvimento do projeto e está apoiada nas referências utilizadas e na experiência dos autores deste estudo. A seguir a lista:

- garantir a confiabilidade do produto (a melhor maneira de alcançar a verdadeira confiabilidade é a simplicidade, também, para atingir um alto nível

- de confiabilidade o projetista deve considerar o uso de componentes e materiais bem experimentados e testados, ao invés de novos e incertos);
- visar a durabilidade do produto e analisar o ciclo de vida;
 - propiciar qualidade ao produto;
 - projetar um produto com baixo custo de manutenção e que possibilite processos fáceis de reparação;
 - garantir segurança a todos envolvidos no projeto, em sua fabricação, montagem, utilização, manutenção, etc.;
 - procurar soluções em acordo com a sustentabilidade ambiental;
 - pensar na aparência do produto (trocar soluções ou partes pode alterar a aparência, todos os envolvidos no projeto devem ser consultados);
 - reduzir o número total de partes (o projetista irá quase sempre ser capaz de reduzir o número de componentes através da combinação de duas ou mais funções em uma única parte);
 - padronizar os tipos de partes (priorizando partes simétricas, caso não possa ser utilizada, exagerar assimetricamente as características para facilitar a orientação);
 - reduzir os diferentes tipos de materiais (não especificar materiais que exijam compras especiais, a menos que não haja alternativa);
 - reduzir a quantidade de métodos de fabricação e montagem;
 - evitar processos manuais na etapa de montagem;
 - priorizar soluções com flexibilidade na montagem (partes que podem ser trocadas caso haja algum problema);
 - projetar partes com fácil encaixe (facilitando a montagem);
 - reduzir as etapas de produção;
 - usar partes compradas/pré-fabricadas que englobam pequenas partes;
 - estar ciente das capacidades dos montadores, subempreiteiros, fornecedores.

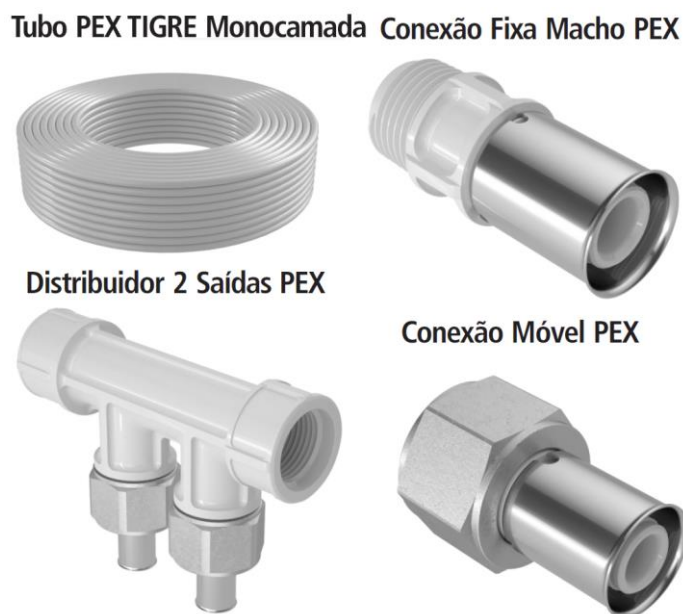
3.3.2 Novas soluções para o projeto

Após a análise dos princípios e recomendações do DFMA, foram pesquisadas no mercado soluções alternativas para as soluções convencionais.

Para a solução do projeto hidráulico foram encontradas as soluções de tubulação CPVC (cloro de polivinila clorado) polietileno reticulado (PEX), polipropileno random (PPR) e a tubulação em cobre.

Optou-se pela solução em PEX. Os principais fabricantes nacionais trabalham com esse material, não é um material tão novo pois já é utilizado no Brasil desde 1990 (NAKAMURA, 2012), a redução da quantidade de partes é lógica pois não haverá tantas conexões já que a tubulação é flexível, o tempo de execução pode ser diminuído em até 10 vezes (NAKAMURA, 2012), haverá menor quantidade e gastos com manutenção já que as manutenções ocorrem principalmente nas conexões das tubulações e o custo pode ser amenizado utilizando sistemas convencionais em conjunto com o sistema PEX.

Figura 3.37. Tubulação e conexões PEX



Fonte: Tigre, 2011.

Optou-se por utilizar a solução em PEX somente na parte interna dos apartamentos, pois é o local onde normalmente está presente a maior parte das conexões, e consequentemente, onde há maior necessidade de manutenção. Não foram propostos sistemas pré-fabricados de PEX, como por exemplo *shafts* pré-fabricados, pois, entende-se que essas soluções poderiam aumentar significativamente o custo do projeto.

O projeto estrutural original previa a solução de concreto armado para produção de pilares, lajes e vigas. O fechamento e vedação desses elementos estruturais era através de parede de alvenaria. Foram estudadas soluções alternativas para esses sistemas: painéis

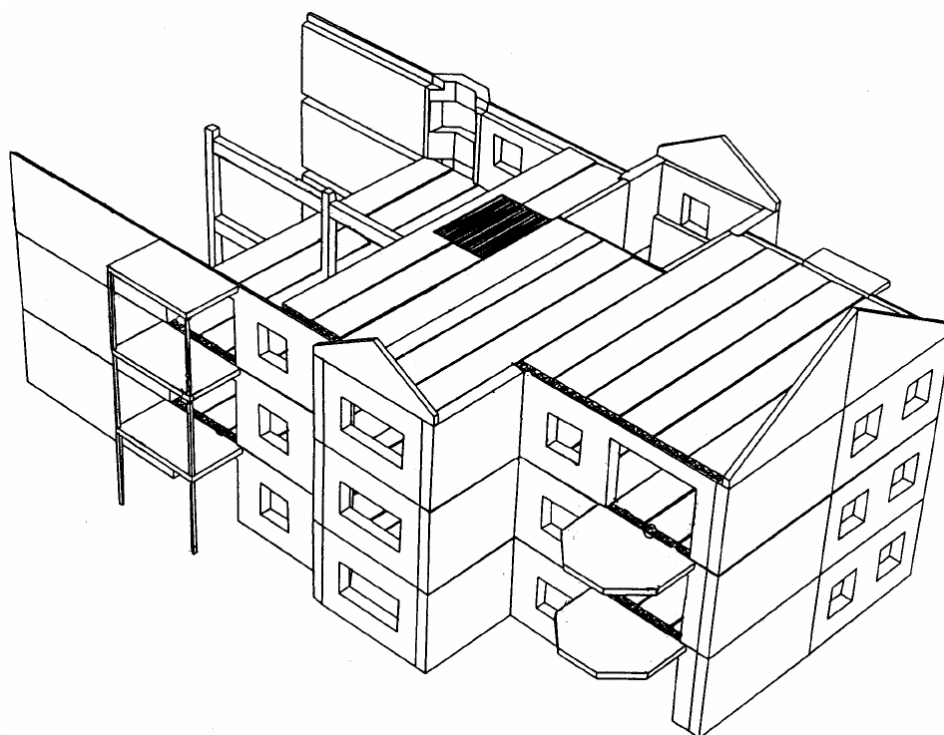
pré-fabricados de concreto armado autoportantes, estrutura pré-moldada e fechamento em painéis pré-fabricados de vedação e sistemas celulares ou modulares autoportantes.

A estrutura em concreto armado pré-moldada e os painéis de vedação pré-fabricados de concreto armado foram as soluções escolhidas. A utilização desses elementos no Brasil acontece desde a década de 1980 (Acker, 2002). É uma solução pré-fabricada que retira do local de montagem todas as subpartes como, por exemplo, barras de ferro e arames. Muitos fabricantes no Brasil utilizam esses sistemas e é comum encontrar construtoras e projetistas utilizando esses sistemas.

Levando em consideração somente a redução da quantidade de partes, as melhores soluções são os sistemas construtivos modular ou celular. Entretanto, essas soluções podem onerar os custos de projeto, também, são soluções menos difundidas no mercado.

Por esses motivos apresentados, optou-se pelas soluções de estrutura em concreto armado pré-moldada e painéis de vedação pré-fabricados de concreto armado.

Figura 3.38. Solução de estrutura em concreto armado pré-fabricado e painéis pré-fabricados de vedação.



Fonte, Acker, 2002.

No próximo subitem será explanado como se procedeu à modelagem das novas soluções para o projeto.

3.4 MODELAGEM BIM DOS NOVOS PROJETOS PROPOSTOS

A modelagem dos novos projetos foi realizada no software Revit, o mesmo software da modelagem dos projetos convencionais. Foram utilizados os mesmos elementos da modelagem dos projetos convencionais, o modelo base foi o anteriormente desenvolvido, trocou-se todas as tubulações internas dos apartamentos por tubulações flexíveis do tipo PEX.

Os distribuidores e a tubulação flexível PEX, que são partes específicas da nova solução não precisaram ser desenvolvidas, os fornecedores já disponibilizaram para modelagem as famílias e objetos. Dessa maneira, para modelar o projeto hidráulico utilizou-se a biblioteca de elementos das seguintes marcas:

- tubos flexíveis, conexões, distribuidores e caixa d'água da marca Tigre;
- chuveiros, bacias sanitárias e registros da marca Docol;
- tanque e lavatório da marca Celite;
- máquina de lavar roupa e pia da cozinha são elementos genéricos, sem marca.

Não houve dificuldades em modelar as partes e constatou-se que a solução com menos partes facilitou a modelagem. Anteriormente houve necessidade de modelar todas as conexões e o novo projeto demandou somente que fosse definido o trajeto da tubulação flexível.

Figura 3.39 - Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 2Q.

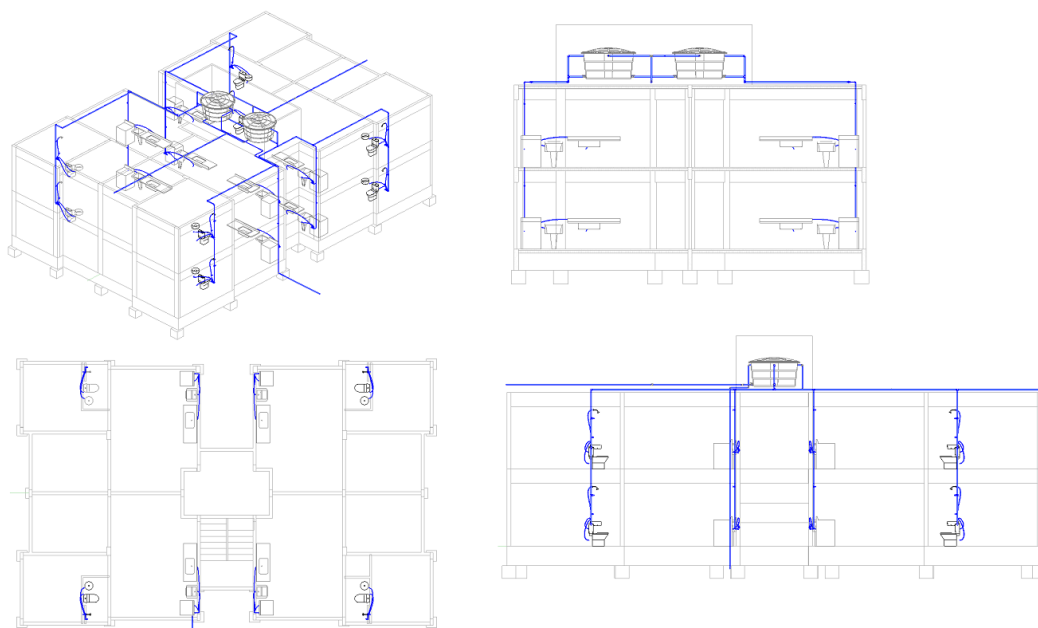
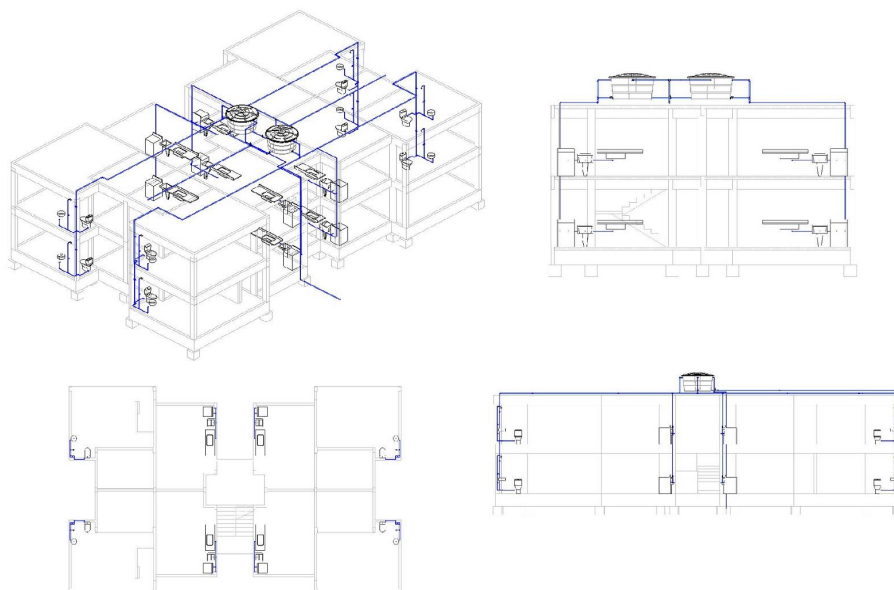
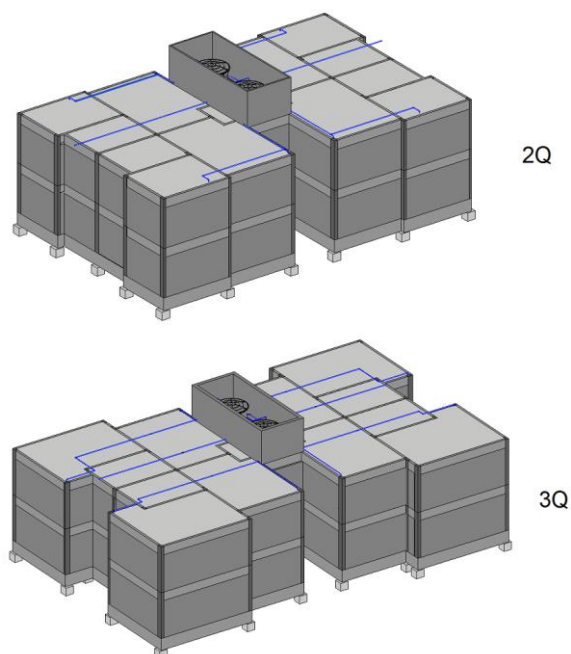


Figura 3.40 - Imagem 3D, elevações e planta baixa retirados automaticamente da modelagem do projeto convencional de hidráulica do bloco 3Q.



Os objetos e famílias do projeto estrutural foram desenvolvidos durante a modelagem. Como por exemplo os pilares, lajes e vigas pré-moldados com suas dimensões específicas (14 x 30, 14 x 40, etc.) e as paredes de vedação de concreto pré-fabricadas com 14 cm de espessura. Durante a modelagem do projeto estrutural constatou-se que todas as impossibilidades anteriores de modelagem haviam sido anuladas, ou seja, todas as partes necessárias foram modeladas e a modelagem aconteceu de forma fluida e precisa.

Figura 3.41 - Blocos 2Q e 3Q com estrutura pré-fabricada e paredes pré-fabricadas de vedação.



A partir da modelagem dos blocos 2Q e 3Q, modelou-se a implantação. Os vínculos do modelo de implantação foram atualizados e a atualização da modelagem da implantação ocorreu de forma automática, gerando o artefato da pesquisa. Para mais detalhes, consultar o apêndice 8.

Figura 3.42 - Imagem 3D, elevação e implantação retirados automaticamente da modelagem dos novos projetos propostos de hidráulica e estrutural de todos os blocos 2Q e 3Q.

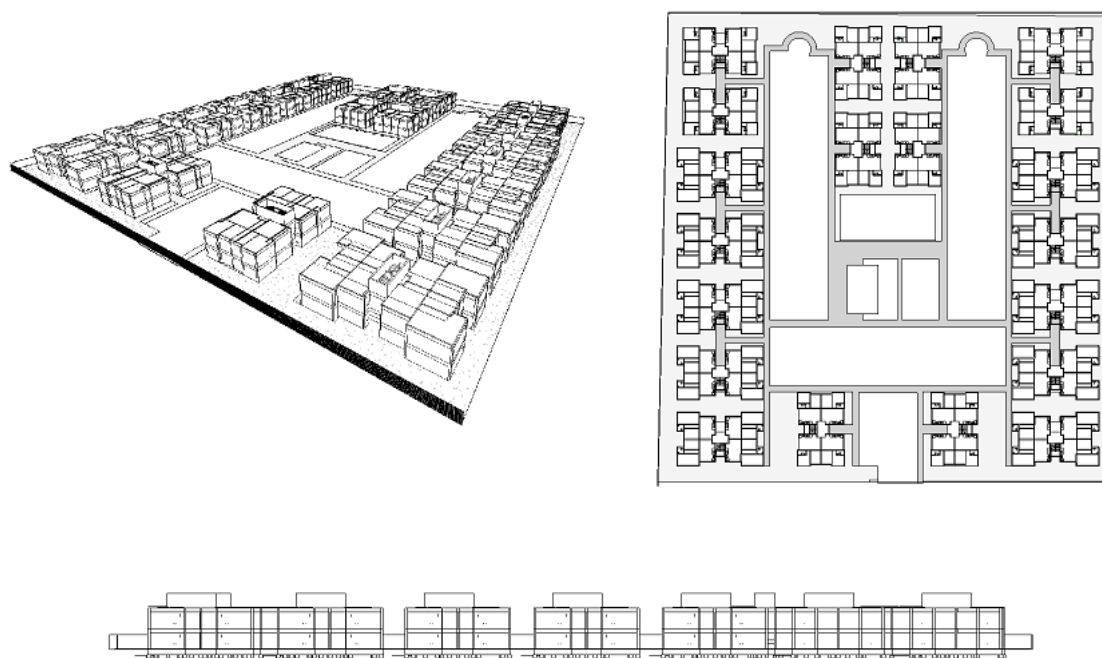
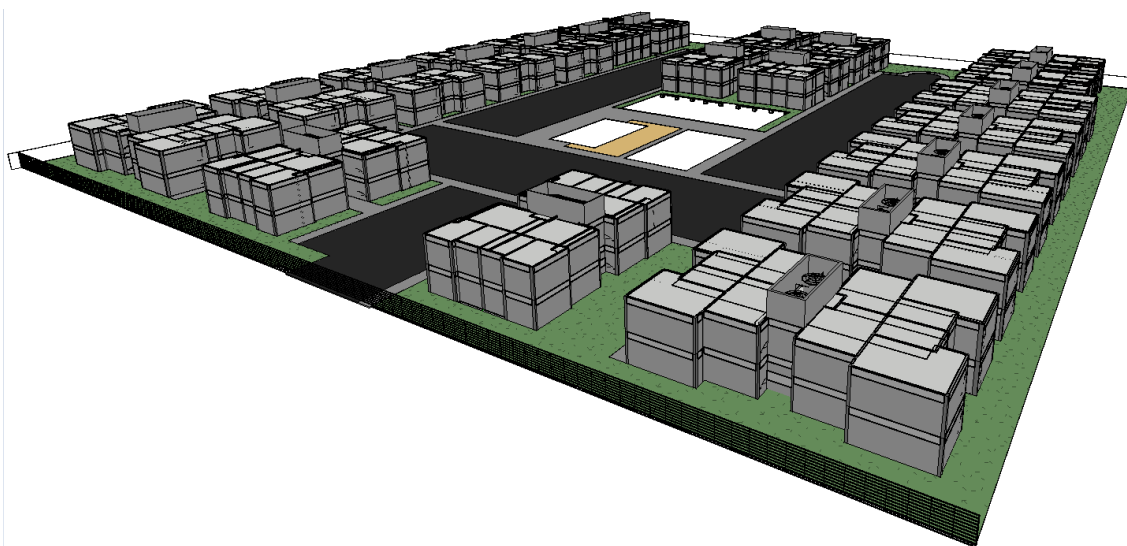


Figura 3.43 - Imagem 3D da modelagem dos novos projetos propostos de hidráulica e estrutural e paredes de alvenaria com blocos cerâmicos de todos os blocos 2Q e 3Q.



4. RESULTADOS

4.1 CONTAGEM DE PARTES DOS PROJETOS CONVENCIONAIS

Inicialmente tentou-se realizar a contagem de partes dos projetos convencionais de forma automática diretamente com uso do modelo BIM. Todavia, a contagem das partes dos projetos convencionais de fato foi realizada de diferentes maneiras. Conforme já mencionado, algumas partes não puderam ser modeladas e algumas partes modeladas não puderam ser quantificadas corretamente. O processo de contagem das partes como ocorrido será descrito nos parágrafos que seguem.

Adotou-se a quantificação do concreto por elementos: cada laje, bloco de fundação, viga ou pilar é uma parte. Através do modelo BIM, foram retirados os quantitativos de peças estruturais, ou seja, a quantidade de partes de concreto. A tabela 4.11 apresenta a quantidade de peças estruturais dos blocos 2Q e 3Q.

Tabela 4.11. Quantidade de partes de peças estruturais do projeto estrutural convencional.

Item	Quantidade de partes	
	2Q	3Q
Pilares	64	80
Vigas	121	180
Lajes	41	41
Blocos de fundação	32	40
Escada	1	1
Totais	259	342

Conforme explicado no capítulo anterior, a modelagem das armaduras não pôde ser realizada, o que demandou que a quantificação das armaduras fosse levantada através das tabelas de armaduras do projeto estrutural convencional. Uma das colunas dessas tabelas refere-se à quantidade de armaduras. Segue um exemplo da quantidade de armaduras dos blocos de fundação e esperas de pilares dos blocos 3Q:

Figura 4.44. Tabela de armadura dos blocos de fundação e esperas dos pilares do bloco 3Q.

RELAÇÃO DO AÇO					
AÇO	N	DIAM	Q	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	184	76	13984
	2	5.0	36	23	828
	3	5.0	48	23	1104
	4	5.0	60	88	5280
	5	5.0	48	29	1392
	6	5.0	28	108	3024
CA50	7	6.3	72	174	12528
	8	6.3	72	136	9792
	9	10.0	40	156	6240
	10	10.0	216	181	39096
	11	12.5	40	164	6560
	12	16.0	100	176	17600

N é a representação para o tipo de armadura (comprimento e como deve ser dobrada), DIAM é a bitola da armadura medida em mm, e Q é a quantidade de armadura daquele específico tipo N.

Para este exemplo, o total de partes, ou seja, o total de armaduras que devem ser cortadas, dobradas e instaladas, é de 944.

Após somar todos os quantitativos de todas as tabelas de armaduras, descobriu-se que o total de armaduras que serão instaladas no bloco 2Q é de 5.585 e no bloco 3Q 8.056.

Diante da impossibilidade de modelar as armaduras, a modelagem dos espaçadores de armaduras e dos arames de amarração também ficou inviabilizada, conforme já explicitado.

Com o objetivo de quantificar os espaçadores de armadura, utilizou-se a informação de que a quantidade média de espaçadores por m² de estrutura é de 4 a 5 unidades (GIRIBOLA, 2014). Para encontrar uma quantidade estimada de espaçadores realizou-se o cálculo de área de estrutura através do modelo BIM e adotou-se um valor médio de 4 espaçadores por m² de estrutura.

Tabela 4.12. Quantidade de parte de espaçadores de armaduras do projeto estrutural convencional.

Item	Área de estruturas		Quantidade de espaçadores	
	2Q	3Q	2Q	3Q
Pilares	25,58	33,98	102	136
Vigas	57,07	66,31	228	265
Lajes	556,50	700,13	2.226	2.801
Totais	639,15	800,42	2.557	3.202

Em relação à quantidade de arame, cada parte deste elemento será considerada como sendo um rolo de 0,5 kg. Para o cálculo da quantidade de arame de amarração utilizou-se a composição 73990/1 (CEF, 2015) referente à armação de aço. A quantidade média de arame por m³ de concreto é de 2,5 kg, logo, calculou-se que serão necessários 359 rolos de arame para os blocos 2Q e 425 rolos para os blocos 3Q.

Conforme anteriormente aludido, as formas não foram modeladas e quantificadas por não serem parte do produto final.

Quantificou-se as tubulações, conexões, aparelhos e caixas d'água por intermédio das tabelas automáticas do modelo BIM. O modelo mostrou-se bastante consistente ao extrair esses quantitativos, os quais seguem apresentados na tabela 4.13.

A quantidade de fita veda rosca e de adesivo de PVC foi estimada por composições analíticas das conexões (CEF, 2015). A fita veda rosca foi quantificada por rolo e o adesivo foi quantificado por pote de 850 g. A tabela 4.14 mostra as composições utilizadas e cálculo realizado.

Tabela 4.13. Quantidade de partes do sistema de água fria do projeto hidráulico convencional.

Item	Quantidade de partes	
	2Q	3Q
Adaptador com anel para caixa d'água	5	5
Adaptador com registro para caixa d'água	6	6
Luva de redução	37	43
Caixa d'água	2	2
Tanque	8	8
Lavatório	8	8
Chuveiro	8	8
Joelho 45/90 graus	94	106
Luva de correr	2	7
Máquina de lavar roupa	8	8
Pia de cozinha	8	8
Tubulação de água fria marrom soldável	214	236
Registro de gaveta	17	17
Registro de pressão	8	8
Bacia sanitária	8	8
Tampa da caixa d'água	2	2
Tê de redução	50	50
Torneira boia	1	1
Totais	486	531

Tabela 4.14. Quantidade de partes de adesivo plástico para PVC e fita veda rosca do projeto hidráulico convencional.

Item	Composição (CEF, 2015)	Quantidade / m ²		Quantidade de partes			
		Adesivo plástico	Fita veda rosca	2Q		3Q	
				Adesivo plástico	Fita veda rosca	Adesivo plástico	Fita veda rosca
Adaptador para caixa d'água	72784	0,0029	0,009 4	0,03	0,10	0,03	0,10
Luva de redução	89380	0,0070	-	0,26	-	0,30	-
Joelho 45/90 graus	89408	0,0070	-	0,66	-	0,74	-
Luva de correr	89425	0,0070	-	0,01	-	0,05	-
Registro de gaveta	73663	-	0,600 0	-	10,20	-	10,20
Registro de pressão	89349	-	0,013 0	-	0,10	-	0,10
Tê de redução	89400	0,0140		0,70	0,00	0,70	0,00
Totais		-	-	2	11	2	11

A quantidade de material necessário para construir as paredes de alvenaria de blocos cerâmicos foi estimada através da composição analítica 87499 do SINAPI (CEF, 2015). As partes das paredes de alvenaria foram definidas por intermédio dos seguintes critérios: i) cada bloco cerâmico é uma parte; ii) cada pino de aço cravado nos pilares é uma parte; iii) cada recorte de tela (7,5 x 50 cm) a ser cravado por meio de pinos de aço nos pilares será considerado uma parte; e iv) uma parte de argamassa de assentamento será quantificada a cada metro linear de bloco cerâmico assentado (cada bloco cerâmico possui um comprimento de 19 cm, logo, a cada 5,26 blocos cerâmicos será quantificada uma parte de argamassa assentada).

Tabela 4.15. Quantidade de partes das paredes de fechamento.

Item	Quantidade de partes por m ²	Quantidade de partes	
		2Q	3Q
Bloco cerâmico	37,24 (CEF, 2015)	25.584	30.686
Argamassa de assentamento	7,08	4.861	5.830
Pino de aço	1,31 (CEF, 2015)	900	1.079
Tela de aço	1,31	900	1.079
Totais	-	32.245	38.675

Após levantar todos os quantitativos dos projetos, utilizando ou não o modelo BIM, descobriu-se o total de partes dos blocos 2Q e 3Q. Os totais são apresentados na tabela 4.16.

Tabela 4.16. Quantidade de partes dos blocos 2Q e 3Q com os projetos convencionais.

Item	Método de contagem	Quantidade de partes	
		Bloco 2Q	Bloco 3Q
Peças estruturais de concreto	Contagem automática através do modelo BIM	259	342
Armadura	Contagem através das tabelas de armaduras dos projetos convencionais	5.585	8.056
Espaçadores de armadura	Estimativa por m ² das peças estruturais	2.557	3.202
Arame	Estimativa por m ³ de concreto	359	425
Total do projeto estrutural	-	8.760	12.025
Sistema de água fria	Tabela automática do modelo BIM	486	531
Adesivo plástico para PVC	Estimativa por unidades de conexões	2	2
Fita veda rosca	Estimativa por unidades de conexões	11	11
Total do projeto hidráulico	-	499	544
Bloco cerâmico	Estimativa por metro quadrado de alvenaria	25.584	30.686
Argamassa de assentamento	Estimativa por metro quadrado de alvenaria	4.861	5.830
Pino de aço	Estimativa por metro quadrado de alvenaria	900	1.079
Tela de aço	Estimativa por metro quadrado de alvenaria	900	1.079
Total das paredes de vedação	-	32.245	38.675
Totais	-	41.503	51.244

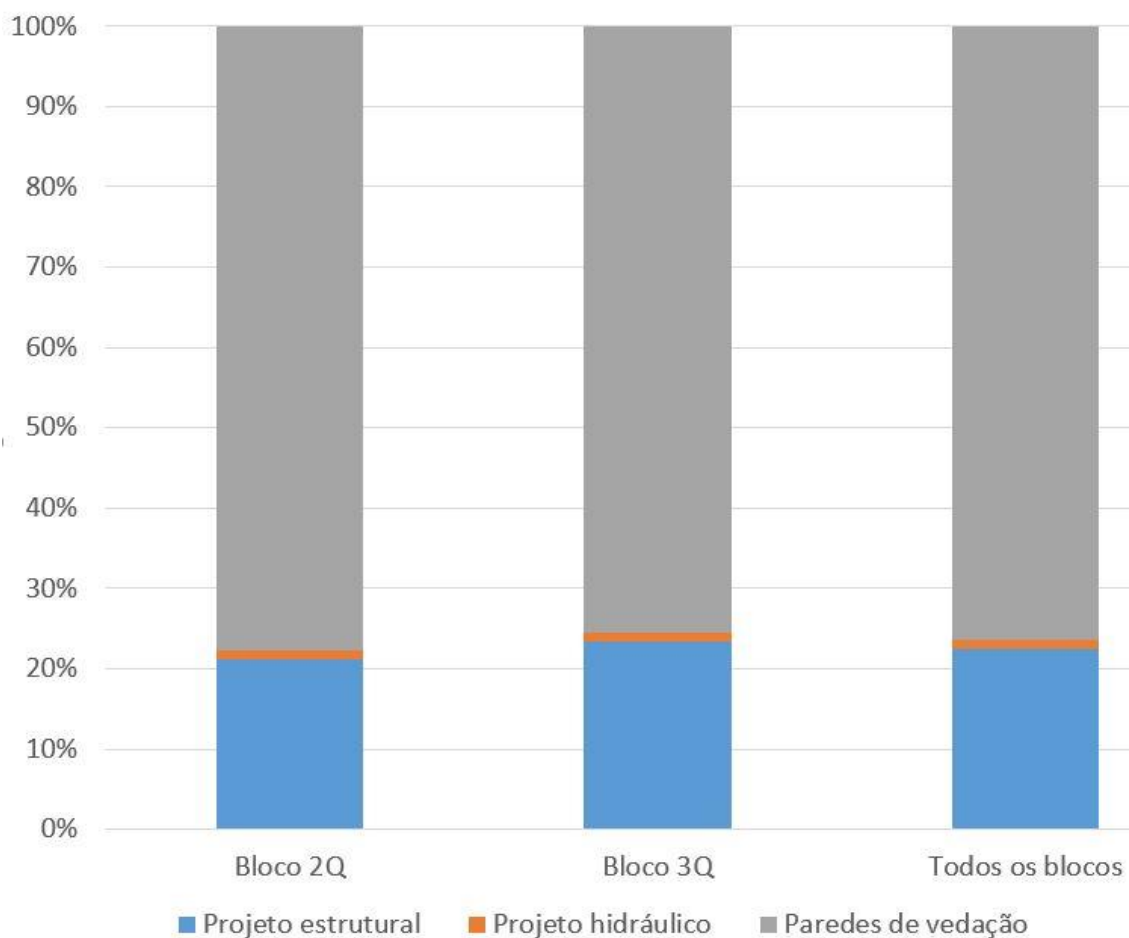
Cada tipo de bloco é repetido 10 vezes no terreno. Dessa forma pode-se utilizar um fator de escala de 10 para cada tipo, calculando-se assim a quantidade de partes total do produto utilizando os projetos convencionais.

Tabela 4.17. Quantidade total do produto com os projetos convencionais.

Item	Quantidade de partes					%
	Bloco 2Q	Bloco 3Q	Bloco 2Q x 10	Bloco 3Q x 10	Todos os blocos	
Total do projeto estrutural	8.760	12.025	87.595	120.250	207.845	22,41%
Total do projeto hidráulico	499	544	4.990	5.440	10.430	1,12%
Total das paredes de vedação	32.245	38.675	322.448	386.750	709.198	76,47%
Totais	41.503	51.244	415.033	512.440	927.473	100,00%

Para melhor visualização da distribuição das partes existentes no projeto segue um gráfico separado em tipos de blocos e disciplinas modeladas.

Gráfico 4.1. Distribuição de partes do produto com os projetos convencionais.



Pôde-se constatar que a grande maioria das partes, 76,47% dentre as modelagens realizadas, refere-se à vedação da estrutura efetuada com as paredes de alvenaria. O projeto estrutural também se mostrou representativo, somando um total de 207.845 partes, das quais 136.410 partes são relativas às armaduras.

4.2 CONTAGEM DE PARTES DOS NOVOS PROJETOS PROPOSTOS

A contagem de partes da nova modelagem aconteceu de maneira diferente do primeiro modelo tendo sido realizada automaticamente através do modelo BIM com apenas duas exceções: adesivo plástico para PVC e fita veda rosca. Todas as outras partes dos novos projetos puderam ser modeladas e isso possibilitou o levantamento do quantitativo de partes diretamente das tabelas geradas no *software* de modelagem Revit.

Tabela 4.18. Quantidade de partes do sistema de água fria do novo projeto hidráulico proposto.

Item	Quantidade de partes	
	2Q	3Q
Adaptador com anel para caixa d'água	5,00	5,00
Adaptador com registro para caixa d'água	6,00	6,00
Luva de redução	15,00	21,00
Caixa d'água	2,00	2,00
Tanque	8,00	8,00
Lavatório	8,00	8,00
Chuveiro	8,00	8,00
Joelho 45/90 graus	46,00	56,00
Luva de correr	2,00	2,00
Máquina de lavar roupa	8,00	8,00
Pia de cozinha	8,00	8,00
Tubulação de água fria marrom soldável	83,00	99,00
Tubulação de água PEX	56,00	56,00
Registro de gaveta	17,00	17,00
Registro de pressão	8,00	8,00
Bacia sanitária	8,00	8,00
Tampa da caixa d'água	2,00	2,00
Tê de redução	18,00	18,00
Torneira boia	1,00	1,00
Totais	309,00	341,00

O levantamento da quantidade de adesivo plástico e de fita veda rosca ocorreu da mesma maneira que no levantamento anterior, através da estimativa por quantidade de conexão.

Tabela 4.19. Quantidade de partes de adesivo plástico para PVC e fita veda rosca do projeto hidráulico convencional.

Item	Composição (SINAPI, 2015)	Quantidade por item		2Q		3Q	
		Adesivo plástico	Fita veda rosca	Adesivo plástico	Fita veda rosca	Adesivo plástico	Fita veda rosca
Adaptador para caixa d'água	72784	0,0029	0,0094	0,03	0,10	0,03	0,10
Luva de redução	89380	0,007	-	0,11	-	0,15	-
Joelho 45/90 graus	89408	0,007	-	0,32	-	0,39	-
Luva de correr	89425	0,007	-	0,01	-	0,01	-
Registro de gaveta	73663	-	0,6	-	10,20	-	10,20
Registro de pressão	89349	-	0,013	-	0,10	-	0,10
Tê de redução	89400	0,014		0,25	0,00	0,25	0,00
Totais		-	-	1,0	11,0	1,0	11,0

A quantidade de partes da estrutura de concreto armado pré-fabricado ocorreu de maneira automática também, já que foi possível modelar todos os elementos.

Tabela 4.20. Quantidade de partes de peças estruturais do novo projeto estrutural.

Item	Quantidade de partes	
	2Q	3Q
Pilares	64	80
Vigas	121	180
Lajes	41	41
Blocos de fundação	32	40
Escada	1	1
Totais	259	342

Após levantar todos os quantitativos dos novos projetos, contabilizou-se o total de partes dos blocos 2Q e 3Q.

Tabela 4.21. Quantidade de partes dos blocos 2Q e 3Q com os projetos convencionais.

Item	Método de contagem	Quantidade de partes	
		Bloco 2Q	Bloco 3Q
Peças estruturais de concreto	Contagem automática através do modelo BIM	259	342
Total do projeto estrutural		259	342
Sistema de água fria	Tabela automática do modelo BIM	309	341
Adesivo plástico para PVC	Estimativa por unidades de conexões	1	1
Fita veda rosca	Estimativa por unidades de conexões	11	11
Total do projeto hidráulico		321	353
Quantidade de paredes pré-moldadas	Contagem automática através do modelo BIM	124	134
Total das paredes de vedação		124	134
Totais	-	704	829

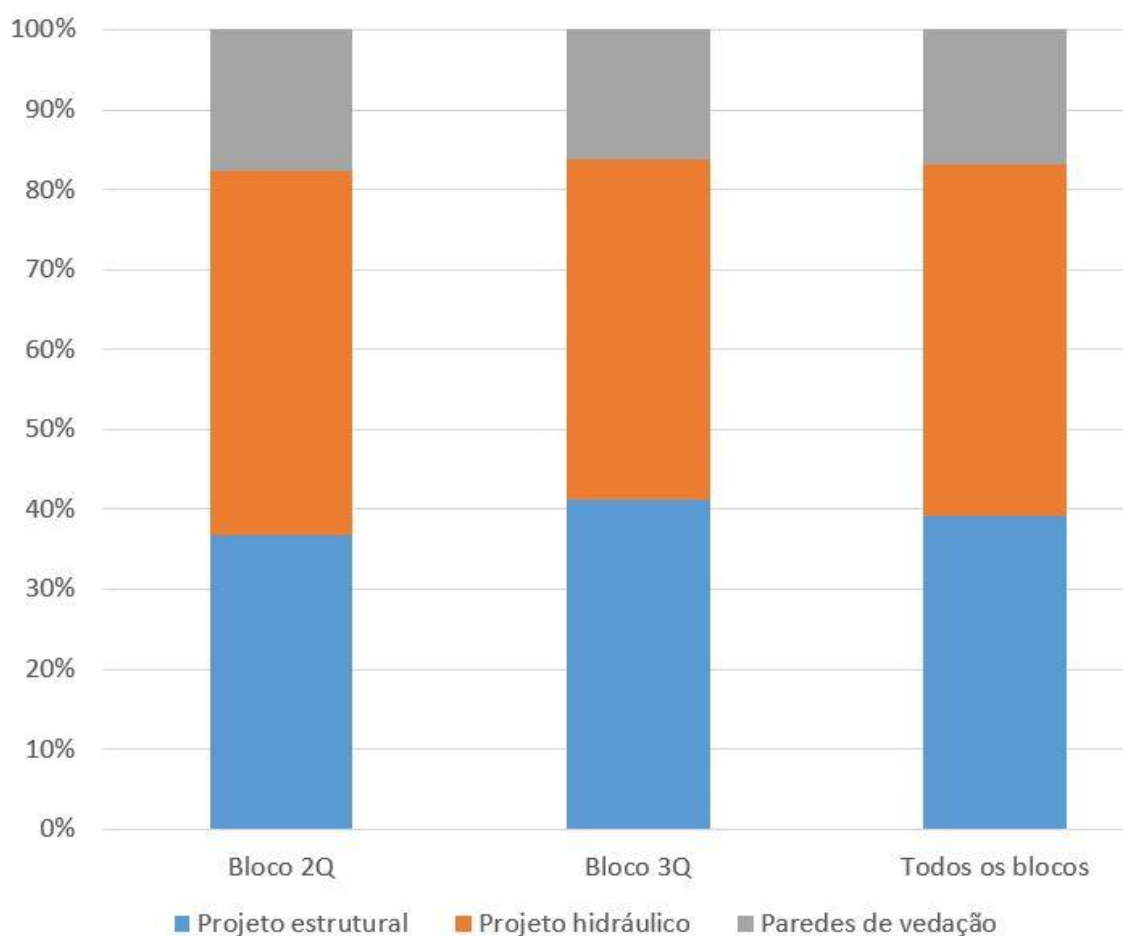
Utilizando o fator de escala de 10 para cada tipo de bloco encontrou-se a quantidade total de partes dos projetos estudados.

Tabela 4.22. Quantidade total do produto com os projetos convencionais.

Item	Quantidade de partes					
	Bloco 2Q	Bloco 3Q	Bloco 2Q x 10	Bloco 3Q x 10	Todos os blocos	%
Total do projeto estrutural	259	342	2.590	3.420	6.010	39,20%
Total do projeto hidráulico	321	353	3.210	3.530	6.740	43,97%
Total das paredes de vedação	124	134	1.240	1.340	2.580	16,83%
Totais	704	829	7.040	8.290	15.330	100,00%

Para melhor visualização da distribuição das partes existentes no novo projeto proposto segue o Gráfico 4.2.

Gráfico 4.2. Distribuição de partes do produto com os novos projetos propostos.



Constata-se que a grande maioria das partes desses novos projetos são do projeto hidráulico 43,97% (6.740).

4.3 COMPARAÇÃO DA QUANTIDADE DE PARTES DOS PROJETOS CONVENCIONAIS E DOS NOVOS PROJETOS PROPOSTOS

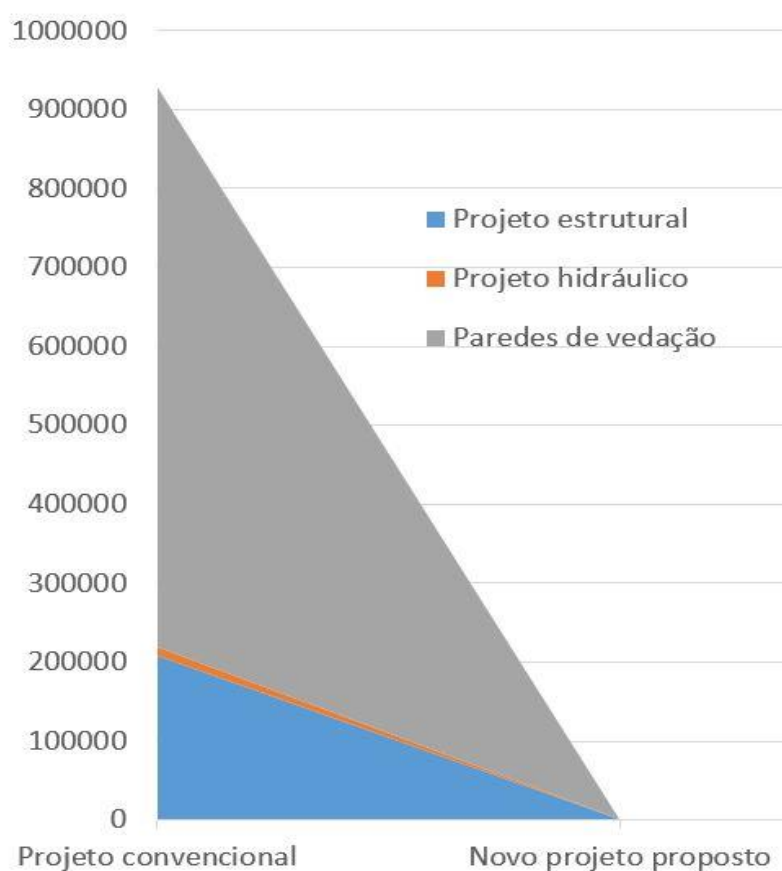
A análise comparativa da quantidade de partes das diferentes soluções foi realizada e demonstra que houve uma diminuição drástica na quantidade de partes dos projetos estruturais (97,11%) e de vedação (99,64%), resultando em uma redução de 98,35% da quantidade total de partes.

Tabela 4.23. Análise comparativa da quantidade de partes dos projetos convencionais e dos novos projetos propostos

Tipo de projeto	Total da Quantidade de partes		Redução da Quantidade de partes
	Projeto convencional	Novo projeto proposto	
Projeto estrutural	207.845	6.010	97,11%
Projeto hidráulico	10.430	6.740	35,38%
Paredes de vedação	709.198	2.580	99,64%
Totais	927.473	15.330	98,35%

A seguir, um gráfico para melhor visualizar a redução da quantidade de partes.

Gráfico 4.3. Quantidade total do produto com os projetos convencionais e com o novo projeto proposto, mostrando a distribuição entre as disciplinas.



Como houve uma redução drástica na quantidade de partes do projeto, fez-se necessário realizar uma análise dos motivos dessas reduções e uma análise das principais consequências no projeto.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE REDUÇÃO DE PARTES DA CONSTRUÇÃO

A análise comparativa da quantidade de partes da construção das duas soluções mostra que a redução da quantidade de partes foi expressiva (98,35%) e que a troca das diferentes soluções gerou diminuição de partes em todas as disciplinas. Essa diminuição da quantidade de partes da construção se deve principalmente pela utilização de soluções industrializadas ou pré-fabricadas que retiram do local da obra muitas partes, como por exemplo a redução que ocorreu entre a quantidade de partes das diferentes soluções estruturais, exemplificada por um pilar na solução convencional e um pilar na solução pré-fabricada.

Tabela 4.24. Comparação da quantidade de partes de um pilar na solução convencional de concreto armado e na nova solução proposta de concreto armado pré-fabricado.

Quantidade de partes de um pilar na solução convencional	Quantidade de partes de um pilar na solução pré-fabricada
4 barras principais de aço CA-50 com diâmetro de 20 mm	1 pilar pré-fabricado em concreto armado
15 estribos com aço CA-60 com diâmetro de 5 mm	
60 arames pequenos para amarração das armaduras	
8 espaçadores de armadura para garantir o cobrimento	
1 parte de concreto usinado	
Total de partes = 88	Total de partes = 1

Em relação à alvenaria pode-se comparar uma parede de 5 m x 2,5 m que na solução anterior teria 415 partes de tijolo somente e que na solução pré-fabricada possui apenas uma parte.

Após essas análises mais específicas é possível compreender e validar os resultados. Pode-se afirmar que a troca das soluções ocasionou redução da quantidade de partes da mesma forma em todo o produto.

Apesar de não terem sido analisados os benefícios que essa redução de partes gerou no projeto, ao retomar o referencial teórico-conceitual adotado, é possível afirmar que a redução da quantidade de partes pode trazer diversos benefícios ao projeto. Por exemplo, por serem conhecidas todas as partes do projeto, há possibilidade de reduzir o tempo de execução, aumentar o controle durante a fase de execução, reduzir custos totais do projeto e facilitar a manutenção.

5. CONCLUSÕES

Contatou-se que obter a informação sobre a quantidade de partes de um projeto não é tarefa fácil de ser realizada: que é necessário ter boa noção geral de todo o projeto, da execução e montagem daquele projeto para adequadamente quantificar partes. Tampouco existem softwares específicos para a contagem de partes, e os softwares de modelagem existentes ainda não possuem funcionalidades para modelar todos os tipos de soluções de projeto. Contudo, quando a solução de projeto é industrializada, pré-fabricada ou modular e possui poucas partes de construção, os softwares de modelagem se tornam uma ferramenta poderosa para quantificação do número de partes, podendo ocorrer até mesmo de maneira automática.

No estudo de desenvolvimento do artefato, a redução na quantidade de partes foi bastante expressiva, mas é importante salientar que somente a ordem numérica dessa quantidade não é o maior resultado da pesquisa: esse estudo possui maior valor por demonstrar a possibilidade da redução de partes da construção de um produto da ICC utilizando soluções alternativas pré-fabricadas e industrializadas.

Foi realizado um estudo de referencial bibliográfico para entender e conceituar o que é uma parte da construção, um conceito ainda pouco conhecido e que merece mais pesquisas. Contatou-se nessa revisão bibliográfica que o conceito de partes é muito utilizado em setores com maior produtividade e mais industrializados que o de construção, e também que esses outros setores utilizam o conceito de partes há décadas, e consideram essencial conhecer cada parte para alcançar o sucesso do projeto.

O referencial além disso foi importante por mostrar soluções que diminuem a quantidade de partes de um projeto normalmente associadas à melhoria geral deste, em especial na sua análise. Pode-se afirmar que a redução da quantidade de partes pode gerar muitos benefícios como um maior controle daquelas no local de execução; maior velocidade de execução, já que é necessário “montar” menos partes; menos informação a ser trocada durante a execução da obra, já que a maior parte da informação está na indústria que fabricará as partes; redução de custos; facilitação da manutenção futura, dentre outros benefícios possíveis.

Outro resultado da pesquisa é uma adaptação de recomendações DFMA para projetos da ICC, lembrando que originalmente são preconizadas para projetos mecânicos.

Após finalizar o estudo, percebe-se que o tema ainda precisa ser aprofundado e que há mais pesquisas a serem realizadas. Por esse motivo, o autor sugere alguns temas que podem servir como norte para futuros trabalhos:

- estudar como a quantidade de partes em um produto da ICC pode ser utilizada como indicador de qualificação de projetos;
- aprofundar a reflexão e estudos sobre o conceito de partes da construção;
- realizar estudos de levantamento de partes em outros tipos de projetos como projetos comerciais, de infraestrutura, industriais, etc.;
- estudar a possibilidade de obter estimativas da quantidade de partes de um produto da ICC dependendo do tipo de solução definida em projeto;
- desenvolver um manual para quantificação de partes da construção; e,
- elaborar um manual DFMA para produtos da ICC com recomendações e princípios de desenvolvimento de projetos da ICC.

REFERÊNCIAS

ACKER, A. V. **Manual de Sistemas Pré-fabricados de Concreto**. Tradução: Marcelo Ferreira. FIB, 2002. 129 p.

AOUAD, G.; LEE, A.; WU, S. Constructing the future: nD modeling. **Taylor and Francis**, Londres, 2006.

ARAÚJO, B. C. **Políticas de apoio à inovação no brasil**: uma análise de sua evolução recente. Rio de Janeiro: IPEA, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5626**. Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12721**. Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12006-2**: Construção de edificação — Organização de informação da construção parte 2: Estrutura para classificação de informação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BAYOUMI, A.M.E. Design for manufacture and assembly (DFMA): concepts, benefits and application. Current Advances in Mechanical Design and Production. **Seventh Cairo University International MDP Conference**. Cairo, p. 15-17, fev. 2000.

BOOTHROYD, G. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, Jul. 1994.

BRALLA, J. G. Design for Excellence. **McGraw-Hill**, New York, 1996.

BRALLA, J. G. **Design for Manufacturability Handbook**. The McGraw-Hill Companies, 1999. 1292 p.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, p. 971–980, 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). Catálogo de Composições Analíticas. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Fev. 2015.

CHENG, Y. An exploration into cost-influencing factors on construction projects. **International Journal of Project Management**. v. 32, p. 850–860, 2014.

CHO, S.; FISCHER, M. Real-time supply chain management using virtual design and construction and lean. **18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**; Haifa; jul. 2010.

COMMITTEE OF THE CONSTRUCTION USERS ROUNDTABLE (CURT). Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation. **WP-1202**. Ago. 2004.

DING, L.; ZHOU, Y.; AKINCI, B. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. **Automation in Construction**. 2014.

EASTMAN, C. The use of computers instead of drawings in building design. **AIA Journal**, v. 63, n. 3, p. 46-50. 1975.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho; Kléos Magalhães Lenz César Júnior; Rita Cristina Ferreira; Sérgio Leal Ferreira. Revisão técnica de Eduardo Toledo Santos. Porto alegre: Bookman, 2014. 483 p.

EDWARDS, K. L. Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. **School of Computing & Technology**, Derby, 2002.

FISCHER, M.; KAM, C.; LO, J.; ZHAO, N. Parts-enabled Approaches for Software Developers, Project Engineers, and Construction Workers. **CIFE Seed Proposal**. 2015.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

GIRIBOLA, M. Entenda as tipologias dos espaçadores usados para posicionar e garantir o cobrimento mínimo das armaduras. **Construção Mercado**, e. 155, jun. 2014.

HARTMANN, T.; FISHER, M. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. **Journal of construction engineering and management**. Out. 2008.

HEVNER, A. R., MARCH, S. T., PARK, J., RAM, S. Design science in information systems research. **Quarterly**. p. 75-105. 2004.

JOHN, V. M. Research & development methodology for recycling residues as building materials – a proposal. **Waste Management**, v. 2, p. 213 – 219. 2001.

KASSEM, M.; KELLY, G.; DAWOOD, N.; SERGINSON, M.; LOCKLEY, S. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, 2015 pp. 261-277. 2015.

KIM, H.; ANDERSON, K.; LEE, S.; HILDRETH, J. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. **Automation in Construction**, p. 285–295. 2013.

KIM, J.I.; FISCHER, M. Requirements to enhance the decision-making process for tunnel construction by virtual design and construction (VDC). **International Workshop on Computing in Civil Engineering**, Los Angeles, jun. 2013b.

KIM, T. W.; FISCHER, M. Practices, challenges, and suggestions in predicting user experience during the programming phase of construction projects. **International Conference on Sustainable Design and Construction 2011: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry**, Kansas City, mar. 2011.

KOSKELA, L.; BALLARD, G. What Should We Require From a Production System in Construction. **Journal of Construction Research**, p. 1-8, 2003.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761. 2013.

LARSEN, K. E.; LATTKKE, F.; OTT, S.; WINTER, S. Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements. **Automation in Construction**, v. 20, p. 999–1011. 2011.

LAISERIN, J. To BIMfinity and Beyond! **Cadalyst**, v. 24, n. 11. p. 46-48, nov. 2007.

LEE, A.; MARSHALL-PONTING, A. J.; AOUAD, G.; WU, S.; KOH, I.; FU, C.; COOPER, R.; BETTS, M.; KAGIOGLOU, M.; FISCHER, M. Developing a Vision of nD-Enabled Construction. **Construct in report**, Salford, 2003.

LEITE, F.; AKCAMETE, A.; AKINCI, B.; ATASOY, G.; KIZILTAS, S. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. **Automation in Construction**, v.20, p. 601–609. 2011.

NASCIMENTO, L.A.; SANTOS, E.T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 1, p. 69-81. 2003.

NAKAMURA, J. Condução racionalizada. **Téchne**, e. 192. 2012.

NEDERVEEN, G. A. V; TOLMAN, F. P. Modelling multiple views on buildings. **Automation in Construction**, v. 1, n. 3, p. 215-224. 1992.

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 189 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

REBOLJ, D.; FISCHER, M.; ENDY, D.; MOORE, T.; SORGO, A. Can we grow buildings? Concepts and requirements for automated nano- to meter-scale building. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, p. 390-398, abril, 2011.

ROBSON, C. **Real world research**: a resource for users of social research methods in applied settings. 3 ed. John Wiley & Sons. 2011. 608 p.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. **Automation in construction**, v. 35, p. 238–253, 2013.

SMITH, R. E.; RICE, T. Permanent modular construction: process, practice, performance. **University of Utah, Integrated Technology in Architecture Center, College of Architecture and Planning**. Abril. 2015.

TEICHOLZ, P. Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies. **AECbytes**, mar. 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução de Daniel Grassi. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Sistemas de Bibliotecas. **Teses, dissertações, monografias e outros trabalhos acadêmicos.** Curitiba, Ed. UFPR, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Sistemas de Bibliotecas. **Citações e notas de rodapé.** Curitiba, Ed. UFPR, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Sistemas de Bibliotecas. **Referências.** Curitiba, Ed. UFPR, 2007.

APÊNDICES

Apêndice 1 Projeto estrutural convencional

Apêndice 2. Projeto hidráulico convencional

Apêndice 3. Modelos BIM dos projetos estruturais convencionais dos blocos 2Q e 3Q

Apêndice 4. Modelos BIM dos projetos hidráulicos convencionais dos blocos 2Q e 3Q

Apêndice 5. Modelos BIM das paredes de alvenaria de blocos cerâmicos dos blocos 2Q e 3Q

Apêndice 6. Modelo BIM dos projetos hidráulicos e estruturais convencionais e paredes de alvenaria de todos os blocos 2Q e 3Q em implantação

Apêndice 7. Modelos BIM dos projetos estruturais, hidráulicos e de paredes pré-fabricadas dos blocos 2Q e 3Q

Apêndice 8. Modelo BIM dos projetos hidráulicos e estruturais convencionais e paredes pré-fabricadas de todos os blocos 2Q e 3Q em implantação – Artefato.

ANEXOS

Anexo 1. Projeto arquitetônico de implantação dos blocos 2Q e 3Q.